



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Timo Leikas

BIOKAASUN KOOSTUMUS JA RIKKIVETYPITOISUUDEN HALLINTA

Case Stormossen BR2

Tekniikan yksikkö
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Timo Leikas
Opinnäytetyön nimi	Biokaasun koostumus ja rikkivetytitoisuuden hallinta
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	67 + 3 liitettä
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Työssä tutkittiin biokaasun tuotantoa, koostumusta ja rikkivetytitoisuuden hallintaa. Oleelliset tutkimuskohteet olivat biokaasun metaanipitoisuuden ja rikkivetytitoisuuden vaihtelun seuraaminen sekä rikkivetytitoisuuden hillitsemiseen käytettävän rautahydroksidivalmisteen tutkiminen ja kokeellinen käyttö Stormossenin bioreaktori 2:lla.

Työn ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kirjallisuuskatsaus biokaasun tuotannosta ja kaasun rikkivetytitoisuuden hallinnasta. Toisessa vaiheessa tutkittiin Stormossenin biokaasulaitoksen automaatiojärjestelmän raporttiohjelmasta miten kaasun tuotto ja metaanipitoisuus ovat vaihdelleet. Lisäksi tehtiin 244 omaa mittausta kaasun koostumuksesta. Näiden tietojen perusteella arvioitiin laitoksen toimintaa.

Tutkimuksessa todettiin, että biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee sen mukaan, miten paljon ja usein bioreaktoriin syötetään jätettä. Kun jätettä syötetään enemmän, pienenee kaasun metaanipitoisuus, mutta toisaalta kaasun kokonaistuotto kasvaa. Kaasun rikkivetytitoisuus taas ei ole riippuvainen syötön määrästä tai tiheydestä, vaan sen pieni vaihtelu johtunee syötteen koostumuksen vaihtelusta. Tutkimuksessa todettiin, että rikkivetytitoisuutta voidaan toimivasti hillitä lisäämällä bioreaktoriin rautahydroksidia.

ABSTRACT

Author	Timo Leikas
Title	Composition and Hydrogen Sulphide Content Management of Biogas
Year	2015
Language	Finnish
Pages	67 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

The production, composition and hydrogen sulphide content management of biogas were studied in this thesis. The variation of hydrogen sulphide content and methane content of the biogas were monitored at Oy Stormossen Ab:s bioreactor 2. The experimental use of an iron hydroxide preparation for hydrogen sulphide binding was also carried out.

The first step of the study was a review of the literature about the production of the biogas and the hydrogen sulphide content management of the biogas. The second step was to explore how much there has been variation in the production rates and in the methane content of the biogas produced in Stormossens bioreactor 2. The information needed in these studies was taken from the automation systems report program. 244 own measurement events were also carried out.

The study found that the methane content of biogas varies according to the feeding of the digester. The hydrogen sulphide content of the biogas does not depend on feeding rates or amounts. Small variation in the hydrogen sulphide content depends likely on the construction of the fermentation substrate. The study found that the hydrogen sulphide content of the biogas can be reduced effectively by iron hydroxide.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
1.1	Ab Stormossen oy – yritysesittely	10
1.2	Työn tarkoitus	12
2	BIOKAASU	14
2.1	Biokaasu jätenäkökulmasta	14
2.2	Biokaasun tuotanto osana jätteenkäsittelyjärjestelmää	17
2.3	Biokaasu Stormossenilla	18
2.4	Biokaasun hyödyntäminen	20
3	BIOKAASUN MUODOSTUMINEN	22
3.1	Metaanintuottopotentiali	22
3.2	Biokaasuprosessi	23
3.3	Prosessin tehostamiskeinot	24
4	BIOKAASUN KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET	27
4.1	Metaani	27
4.2	Hiilidioksidi	28
4.3	Happi ja typpi	28
4.4	Ammoniakki	29
4.5	Rikkivety	29
4.6	Halogenoidut hiilivedyt	30
4.7	Siloksaanit	31
4.8	Kaasun muut osat	31
5	BIOKAASUN RIKKIVETYYPITOISUUDEN HALLINTA	32
5.1	Raudan käyttö	32
5.2	Aktiivihiihisiuodatus	34
5.3	Biologinen rikinpoisto	34
5.4	NaOH-pesuri	35
5.5	Vesipesuri	36
5.6	Muita keinoja	36

6	BR2:N PROSESSI	38
6.1	Prosessi ennen muutoksia	38
6.2	Prosessi tehostamistoimien jälkeen	39
6.3	Rikkivetypitoisuuden hallinta	40
7	TULOSTEN ESITTELY	41
7.1	Kooste aiemmista biokaasun koostumusmittauksista	41
7.2	Kaasutuotannon analysointia v. 2004–2014	42
7.2.1	Kaasun metaanipitoisuus 2004–2014	42
7.2.2	Syötetyn jätteen ja tuotetun kaasun suhde 2004–2014	44
7.3	Syötemäärän ja tuotetun kaasun suhde 23.3.–28.4.2015	48
7.4	Biokaasun koostumusmittaukset ja menetelmien kelpoisuus	51
7.5	Kaasun koostumusmittausten tulokset	52
7.6	Rikkivedyn pitoisuuden vaihtelu ja rautahydroksidin vaikutus	54
7.7	Tulosten luotettavuuden arviointia	57
7.8	Muut lopputuotteet	57
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	59
9	POHDINTA	62
	LÄHDELUETTELO	64
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Stormossenin omistajakunnat kartalla. /9/.....	11
Kuvio 2. Ennusteita jätteiden määrän kehityksestä vuoteen 2030. /19, 36/.....	16
Kuvio 3. Jätteenkäsittelymenetelmät Euroopassa v. 2012. /21, 4/.....	17
Kuvio 4. Biokaasutuotannon pääprosessit Stormossenilla. /24/.....	19
Kuvio 5. Biokaasun muodostumiskaavio. /27, 30/.....	24
Kuvio 6. Esimerkki rikkivedyn päiväkohtaisesta vaihtelusta. /15, 94/.....	30
Kuvio 7. Rikkivedyn pitoisuus suhteessa lisätyn ilman määrään. /15, 444/.....	35
Kuvio 8. BC Atox Scon -rautahydroksidivalmistetta.....	40
Kuvio 9. BR2:lla tuotetun kaasun metaanipitoisuuden vaihtelu v. 2004–2015....	43
Kuvio 10. Syötteen määrän ja kaasun metaanipitoisuuden trendikäyrät v. 2004–2014.....	44
Kuvio 11. Biokaasun tuottokuvaaja.	45
Kuvio 12. Tuotetun kaasun ja syötetyn syötteen suhde v. 2004–2014.	46
Kuvio 13. Päivittäiset kaasusummat ja syöttösummat 1.-7.6.2014.....	47
Kuvio 14. Kaasuntuoton ja syötteen jätepitoisuuden välinen suhde.	48
Kuvio 15. Päivittäiset kaasusummat ja syöttösummat 22.4.–28.4.	49
Kuvio 16. Kaasun virtaus ja syötteen syöttöhetket ja -määrät 22.4.–28.4.	50
Kuvio 17. Kaasun virtaus ja syötteen syöttöhetket ja -määrät 24.4.–25.4.	51
Kuvio 18. Metaanipitoisuuden vaihtelu omien mittausten mukaan.	53
Kuvio 19. Metaanipitoisuuden vaihtelu raporttiohjelman mukaan.	54
Kuvio 20. Rikkivetypitoisuuden lasku ja tasoittuminen BR2:n tuotekaasussa....	55
Kuvio 21. Rikkivetypitoisuus eri rautahydroksidin annostuksilla.	56
Kuvio 22. Esimerkkikuva kaasutuotannon seurannan taulukosta.....	58
Taulukko 1. Esimerkkejä metaanintuottopotentiaaleista. /27, 23/.....	22
Taulukko 2. Biokaasun koostumusanalyysijä v. 2008–2014.....	41
Taulukko 3. Viikottaiset tuotot ja syötöt 23.3.-28.4.....	49
Taulukko 4. Sewerin Multitec 540:n mittausvälit ja tarkkuudet.....	51

LIITELUETTELO

LIITE 1. Kuvia Stormossenin biokaasulaitokselta

LIITE 2. Ns. normaalin viikon kaasuntuotto

LIITE 3. Koostumuspäiväkirja BR2 23.3.–29.4.2015

LYHENNE- JA TERMILUETTELO

Biokaasu	Tässä työssä biokaasulla tarkoitetaan yleensä bioreaktorista saatavaa raakaa biokaasua
Biometaani	Biometaanilla tarkoitetaan biokaasua, joka on jalostettu pääsääntöisesti liikennekäyttöä varten >95 % metaaniksi
BR1	Stormossenin bioreaktori 1, käsitellään jätevesilietettä
BR2	Stormossenin bioreaktori 2, käsitellään biojätettä
Liikennebiokaasu	kts. biometaani
m ³	Kaasujen yhteydessä yksiköllä m ³ tarkoitetaan tässä työssä kuutiometriä kaasua olosuhteissa 1 bar paine ja 0 °C lämpötila
MBT-laitos	Mekaanis-biologinen jätteenkäsittelylaitos
Viipymäaika	Syötemassan hydraulinen viipymä reaktorissa

1 JOHDANTO

Biokaasulla on erityisen mielenkiintoinen rooli energiasektorilla, sillä sen tuotannolla on vaikutuksia hyvin moniin eri tekijöihin. Tuotanto tukee jätehuoltoa, energiantuotantoa, maaperän kuntoa, jätteiden loppusijoituspaikkojen veden laatua sekä kasvihuonekaasupäästöjen alentamisen tavoitteita. Biokaasulla on lisäksi edellytyksiä kasvattaa helposti osuuttaan energiamarkkinoista, sillä metaanille löytyy valmiita käyttökohteita. Tällä hetkellä suurin osa maailmalla käytettävästä metaanista on peräisin fossiilisesta maakaasusta. Tulevaisuudessa metaanitarpeisiin voitaisiin laajemman biokaasutuotannon myötä vastata ekologisesti kestävämmällä vaihtoehdolla: biometaanilla. /1, xxvi–xxvii/.

Biokaasua on käytetty jo pitkään kotitalous- ja maatilamittakaavan energiaratkaisuissa. Myös jätevedenpuhdistamoilla biokaasun tuotanto on tuttu keino lietteen stabiloimiskeino. Kehitystyön myötä biokaasun tuotannossa on siirrytty kohti teollisempaa mittakaavaa ja sen kautta tehokkaampaa tuotantoa. Tuotanto muuttaa jätteen raaka-aineeksi ja parantaa ravinteiden kiertoa, sillä kaasun tuotannossa saadaan tuotteena myös mädätysjäämää, joka voidaan jalostaa hyötykäyttöön kasvinviljelyn lannoitteeksi. Näin tärkeät ravinteet typpi ja fosfori sekä mineraalit saadaan entistä paremmin palaamaan takaisin maaperään ja viljelykasvien käyttöön. /1, xxvii/.

Biokaasua voidaan käyttää sellaisenaan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa CHP-laitoksissa. Pienemmässä mittakaavassa kaasua käytetään myös pelkän lämmön tuotantoon. Jos kaasu käsitellään vastaamaan ominaisuuksiltaan maakaasua, sitä voidaan pumpata kaasuverkkoon ja käyttää samoihin käyttökohteisiin maakaasun kanssa. /1, 2/.

Biometaaniksi jalostettua biokaasua voidaankin käyttää myös liikennepolttoaineena kaasukäyttöisissä autoissa ja muissa ajoneuvoissa. Koska liikenne on nykyisin EU:ssa ainoa sektori, joka kasvattaa hiilidioksidipäästöjä, vaikuttaisi hiilidioksidineutraalin biokaasun käyttö huomattavasti näihin päästöihin. Biokaasun hiilidioksidineutraalius perustuu siihen, että kaasun raaka-aineena käytettävän orgaanisen

aineen sisältämä hiili on muodostunut fotosynteesissä, ja se vain palaa takaisin ilmakehään hiilidioksidin muodossa sen jälkeen kun metaani on käytetty energiaksi. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen lisäksi öljypohjaisiin polttoaineisiin verrattuna metaanin käyttö alentaa myös hiukkaspäästöjä ja typen oksidien päästöjä. /2, 6; 3, 114; 4, 17/.

Biokaasun liikennekäytön lisääminen olisi kuitenkin suhteellisen yksinkertaista, sillä olemassa oleva maakaasuautokanta pystyy hyödyntämään biometaanin sellaisenaan, ja olemassa olevia bensiini- ja dieselkäyttöistä autoja ja muita ajoneuvoja voidaan muuttaa käyttämään polttoaineenaan metaania. Useilla autonvalmistajilla on markkinoilla kaasukäyttöisiä malleja. Käytön houkuttelevuuden hidasteena onkin metaanin jakeluverkon pienuus. Tieliikenteen lisäksi biokaasua voidaan käyttää polttoaineena myös muissa liikennemuodoissa, kuten raideliikenteessä, vesiliikenteessä ja lentoliikenteessä. Biokaasun liikennekäyttö lasketaan jalostusasteeltaan korkeammaksi energian hyödyntämismuodoksi kuin sähkön- ja lämmöntuotanto. /5; 6, 9; 2, 30/.

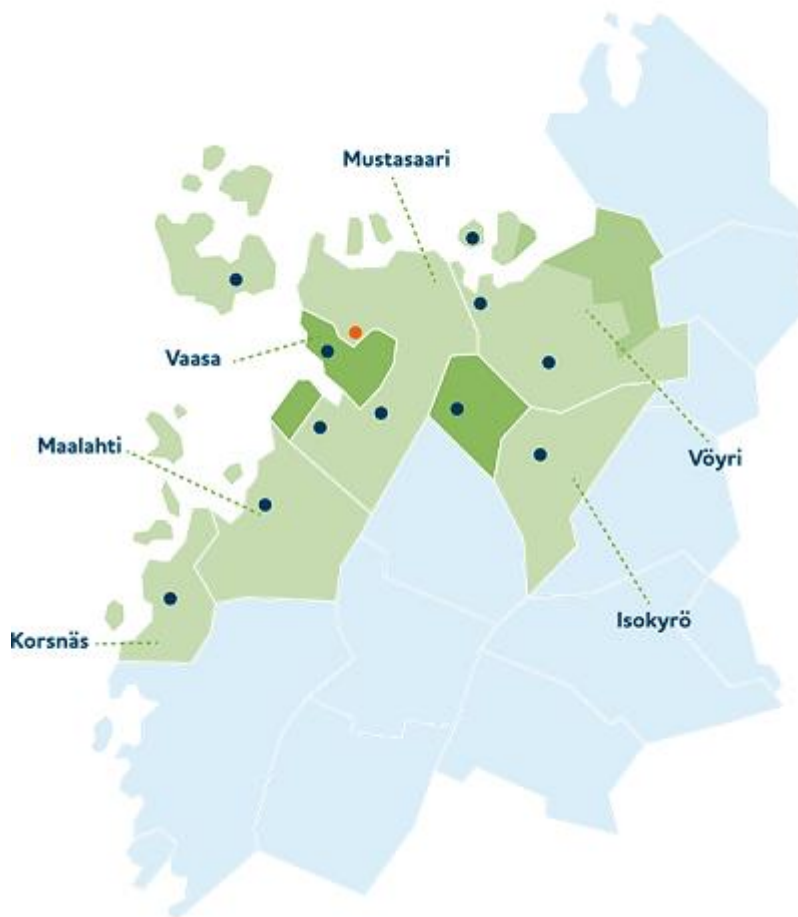
1.1 Ab Stormossen oy – yritysesittely

Ab Stormossen Oy on vuonna 1985 perustettu jätehuolto-yhtiö. Perustajakunnat olivat Vaasa ja Mustasaari. Stormossen on perustamisestaan lähtien ollut eräänlainen jätealan pioneeritoimija Suomessa, sillä vuonna 1990 käyttöön otettu jätteenmädätyslaitos oli Suomen ensimmäinen ja Euroopassakin vasta toinen. Mädätyslaitoksen toiminnan takaamiseksi aloitettiin jätteiden syntypaikkalajittelu. Lajittelun myötä biokaasureaktori alkoi toimia suhteellisen hyvin. Onnistumisen myötä Stormosselle rakennettiinkin 1990-luvulla toinen biokaasureaktori toiminta-alueen jätevedenpuhdistamojen lietteitä varten. /7; 8/.

Näillä kahdella reaktorilla saatiin käsiteltyä biojäte ja puhdistamoliete, mutta pian alettiin miettiä mitä biojätteen mekaanisessa esikäsittelyssä eriteltävälle paperi- ja muovijätteelle voitaisiin tehdä. Koska Stormossenilla oli jo totuttu näkemään jäte resurssina, päätettiin kokeilla paperi- ja muovijätteen polttamista voimalaitoksen tukipolttoaineena. Suomessa ei aiemmin ollut kokeiltu tämän tyyppisiä ratkaisuja. Yhteistyökumppanina toimi UPM:n Pietarsaaren tehtaan voimalaitos. Nykyään

sekä Stormossenin alueeltaan erikseen keräämä että mekaanisessa esikäsittelyssä eriteltävä poltettava jäte poltetaan Oy Westenergy Ab:n jätteenpolttolaitoksessa, joka sijaitsee Stormossenin kanssa samalla alueella. /8/.

Stormossenin omistajakuntien määrä on vuosien mittaan kasvanut ja sitä kautta toiminta-alue on vastaavasti laajentunut. Omistajakunnat ovat Isokyrö, Korsnäs, Maalahti, Mustasaari, Vaasa ja Vöyri. Toiminta-alueella on yli 100 000 asukasta. Omistajakunnat on esitetty kuviossa 1. Vuonna 2013 yrityksen liikevaihto oli 11,3 milj. euroa ja se työllisti noin 43 henkilöä. /9; 10/.



Kuvio 1. Stormossenin omistajakunnat kartalla. /9/.

Vuonna 2013 yhdyskuntajätteen hyötykäyttöaste oli 96 %, mikä on yksi maan korkeimmista. Hyödynnettäväksi jätteeksi lasketaan sekä energia- että materiaali-hyötykäyttö. Käytännössä kaatopaikalle loppusijoitetaan vain kierrätykseen tai hyötykäyttöön sopimatonta jätettä ja erikoisjätettä. Merkittäviä tekijöitä korkean hyötykäyttöasteen kannalta ovat pitkä lajitteluperinne toiminta-alueella sekä viereisellä tontilla toimiva vuonna 2012 valmistunut Westenergyn jätteenpolttolaitos, jonka ansiosta kaatopaikan kuormitus on vähentynyt merkittävästi entisestään. Jo ennen jätteenpolton aloittamista Stormossenin hyötykäyttöaste oli huomattavan korkea, mihin yksi osasyynä on jätteen biologinen käsittely. Biojätteen kierrättäminen kompostimullaksi ja biokaasuksi on merkittävä tapa vähentää kaatopaikalle joutuvan orgaanisen jätteen määrää. /11, 6, 19–21; 12, 17/.

1.2 Työn tarkoitus

Työn tarkoituksena on seurata Stormossenin bioreaktori 2:n (BR2) mekaanisella esikäsittelylaitoksella tehtävien muutosten vaikutusta biokaasun tuottoon sekä tutkia miten kaasun rikkivetyosuus saataisiin optimaalisesti hallintaan. Oleellimmat muutokset ovat paperi- ja muovijätteen poistamisen tehostaminen, syötteen rae-koon pienentäminen senttimetrikokoluokasta millimetrikokoluokkaan uudella va-saramyllytekniikalla sekä mekaanisten hihnakuuljettimien muuttaminen putkistoksi. Myöhemmin putkistoon tullaan mahdollisesti lisäämään lämpölinja helpottamaan prosessin lämpötilan hallintaa. /13/. Oleellisia kysymyksiä ovat

- muuttuuko kaasuntuotto oleellisesti uuden esikäsittelyn myötä?
- miten paljon kaasuntuotto ja metaanipitoisuus vaihtelevat?
- mihin rikkivedyn hallintaan jo muutamia käytetyn BC Atox Scon -valmisteen toiminta perustuu ja miten tehokkaasti se toimii?
- onko kaasun rikkivetypitoisuuden hallintaan muita keinoja?

Stormossenin BR2:ta on tutkittu Johan Saarelan opinnäytetyössä ”kartläggning av Bioreaktor 2 vid Stormossen”. Työssä on kartoitettu BR2:n parametrit ja tutkittu millaisia muutoksia laitoksen toimintaan voisi jatkossa tehdä /14/. Tässä työssä ei puututa Saarelan työssä tutkittuihin asioihin, vaan työn uutuusarvo on erityisesti

kaasun koostumuksen vaihtelun tutkimisessa ja rikkivedyn tuoton hallinnassa sekä havaintojen kirjallisessa raportoinnissa.

2 BIOKAASU

Biokaasulla tarkoitetaan kaasua, joka muodostuu pääasiassa metaanista ja hiilidioksidista orgaanisen materiaalin eli biomassan mädätyksessä. Mädätys tapahtuu hapettomassa ympäristössä, jossa on erilaisia metaania tuottavia luonnon mikro-organismeja. Nämä metaanintuottajabakteerit käyttävät ravinnokseen syötteen sisältämiä ainesosia. /15, 53–55/.

2.1 Biokaasu jätenäkökulmasta

Jätelaissa määritellään jätteiden käsittelylle etusijajärjestys, jonka mukaan

1. vähennetään jätteen määrää ja haitallisuutta,
2. valmistellaan jäte uudelleenkäyttöä varten tai kierrätetään se,
3. hyödynnetään jäte muulla tavoin (sisältää energiakäytön) tai
4. loppukäsitellään jäte. /16/.

Biokaasun tuotannossa toteutetaan pääsääntöisesti kahta ensimmäistä etusijajärjestyksen kohtaa, sillä jätteen määrää ja haitallisuutta vähennetään ottamalla talteen kaasu, joka muuten olisi ilmakehälle haitallinen. Suljetun järjestelmän ansiosta mädätyksessä kaasu saadaan talteen paremmin kuin muissa biojätteen käsittelymenetelmissä. Samalla jäte valmistellaan uudelleenkäyttöä varten polttoaineeksi ja kompostimullaksi, jota voidaan käyttää lannoitteena. Samalla vältetään viherrakentamisen keinolannoitetarvetta ja ylläpidetään maaperän kuntoa sekä hiilitasetta. /2, 12/.

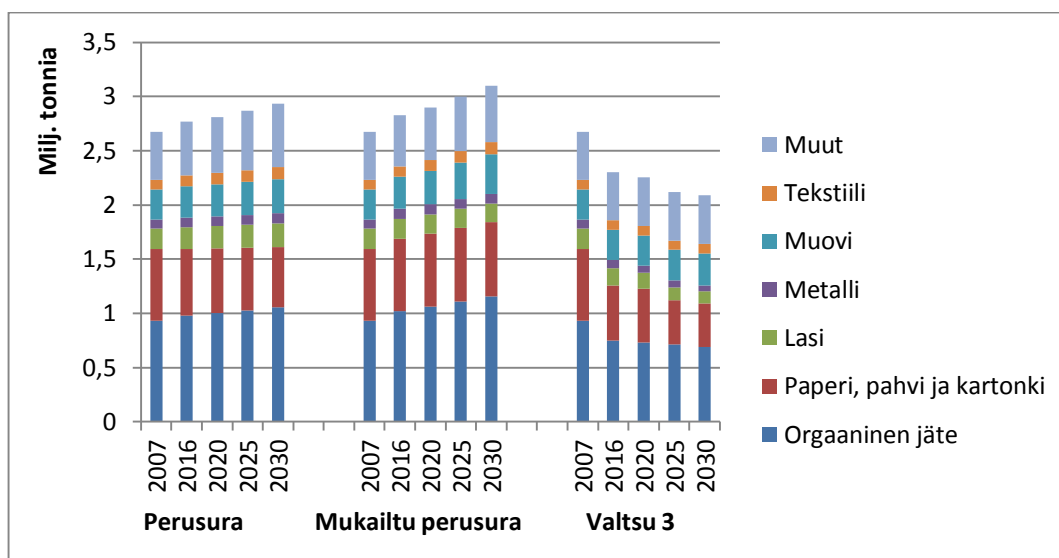
Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista määritellään, että tavanomaisen jätteen kaatopaikalle hyväksytään vain sellaista jätettä, jonka biohajoavan tai muun orgaanisen aineksen osuus on joko orgaanisen hiilen kokonaispitoisuutena tai hehkutushäviönä mitattuna korkeintaan 10 %. /17/.

Suomen lainsäädäntö määrittelee biohajoavaksi jätteeksi jättemateriaalin, joka biologisen toiminnan seurauksena voi hajota pienemmiksi orgaanisiksi ja epäorgaanisiksi yhdisteiksi joko hapettomissa ja hapellisissa olosuhteissa. Näin ollen biohajoavaa jätettä on sellainen jäte, josta voi loppusijoituksessa muodostua biokaasua.

Esimerkiksi yhdyskuntajätteen ja rakennusjätteen esikäsittelyssä muodostuu jakeita, jotka ovat biohajoavia. Biohajoava jäte on aina orgaanista jätettä, mutta kaikki orgaaninen jäte – kuten muovit – eivät ole biohajoavaa jätettä. Biojätteellä taas tarkoitetaan helposti biohajoavaa jätettä, esimerkiksi puutarhajätettä sekä elintarvike- ja keittiöjätettä. Biojäte on aina biohajoavaa jätettä, mutta kaikki biohajoava jäte – kuten puujäte – ei ole biojätettä. /18, 14/.

Biohajoavuutta ja orgaanisen aineksen määrää voidaan tutkia erilaisilla menetelmillä. Yleisimpiä indikaattoreita ovat hehkutushäviö ja kokonaisorgaaninen hiili (TOC). Tiettyjä ominaisuuksia, kuten jätteen vaikutusta vesistöihin voidaan arvioida liukoisen orgaanisen hiilen menetelmällä (DOC). Sillä tarkoitetaan määrittelyissä olosuhteissa jätteestä veteen liukenevan orgaanisen hiilen määrää. /18, 15/.

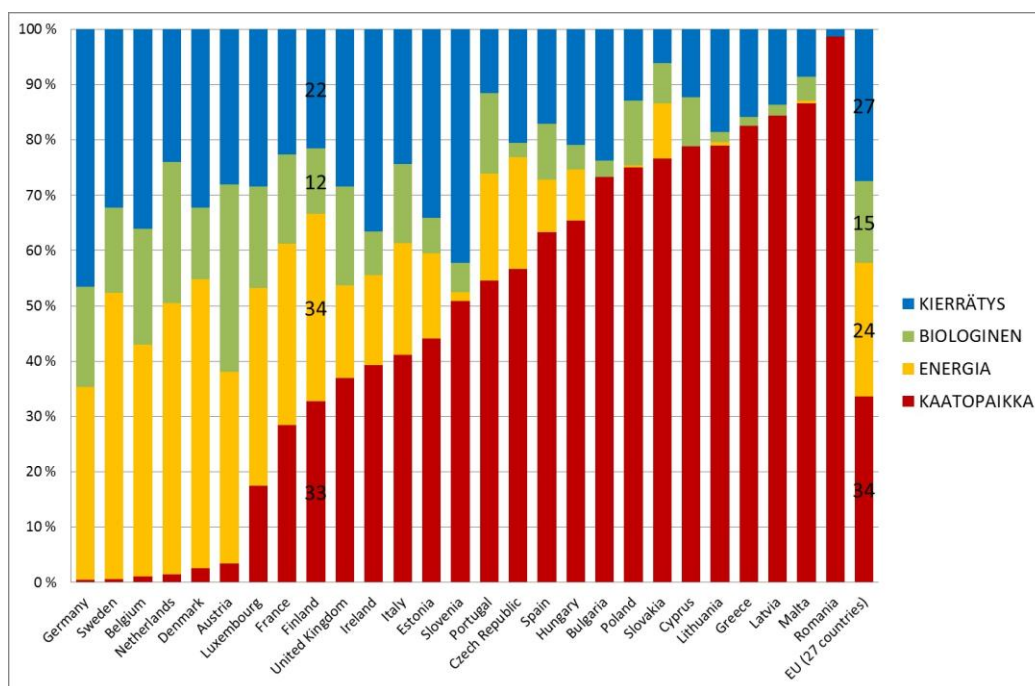
Kuviossa 2 esitellään arvioita jätemäärien yleisestä kehityksestä. Perusura 1 on tilastoihin perustuva arvio kehityksestä. Mukailtu perusura on asiantuntijoiden korjailema malli perusura 1:stä. Valtsu 3 on valtakunnallisen jättesuunnitelman mukainen kehitysajatus. Tilastoihin perustuvat mallit ennustavat jätemäärien yleistä kasvua kautta linjan, mutta Valtsun mukainen malli ennustaa jätemäärien laskua. Kaikissa malleissa orgaanisen jätteen osuus käyttäytyy mallin yleisen kehityksen mukaisesti. /19, 36/.



Kuvio 2. Ennusteita jätteen määrän kehityksestä vuoteen 2030. /19, 36/.

Valtakunnallisessa jättesuunnitelmassa on tavoitteena vakiinnuttaa yhdyskuntajätteen määrä 2000-luvun alun tasolle ja sen jälkeen kääntää jättemäärä laskuun. Vuoden 2016 tavoitteena on, että yhdyskuntajätteistä kierrätetään materiaalina 50 % ja käytetään energiahyötykäyttöön 30 %, jolloin kaatopaikalle loppusijoitettavan yhdyskuntajätteen osuus jää 20 %:iin. Valtakunnallisen jättesuunnitelman mukaisia tavoitteita kohti pyritään materiaalitehokkuuteen kannustamalla, kierrätystä tehostamalla, jätahuollon organisoinnin kehittämällä ja selkeyttämällä sekä jätealan osaamisen kehittämällä. Samalla pyritään jättepolitiikan yleisten päämäärien mukaisesti vähentämään jätteistä aiheutuvia haitallisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Ilmastonäkökulmasta tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti kaatopaikkakäsittelystä aiheutuvien metaanipäästöjen vähentämisen kautta. /20, 7–9/.

Kuviossa 3 verrataan Suomen jätteen hyödyntämistä muihin Euroopan maihin vuonna 2012. Diagrammista voidaan tulkita, että hyödyntäminen on Suomessa juuri ja juuri keskimääräistä paremmalla tasolla. Energiahyötykäyttö on keskimääräistä paremmalla tasolla, mutta kierrätyksen ja biologisen käsittelyn osuutta olisi mahdollisuus kasvattaa merkittävästi, ja samalla vähentää jätteen kaatopaikkasijoituksen määrää. /21/.



Kuvio 3. Jätteenkäsittelymenetelmät Euroopassa v. 2012. /21, 4/.

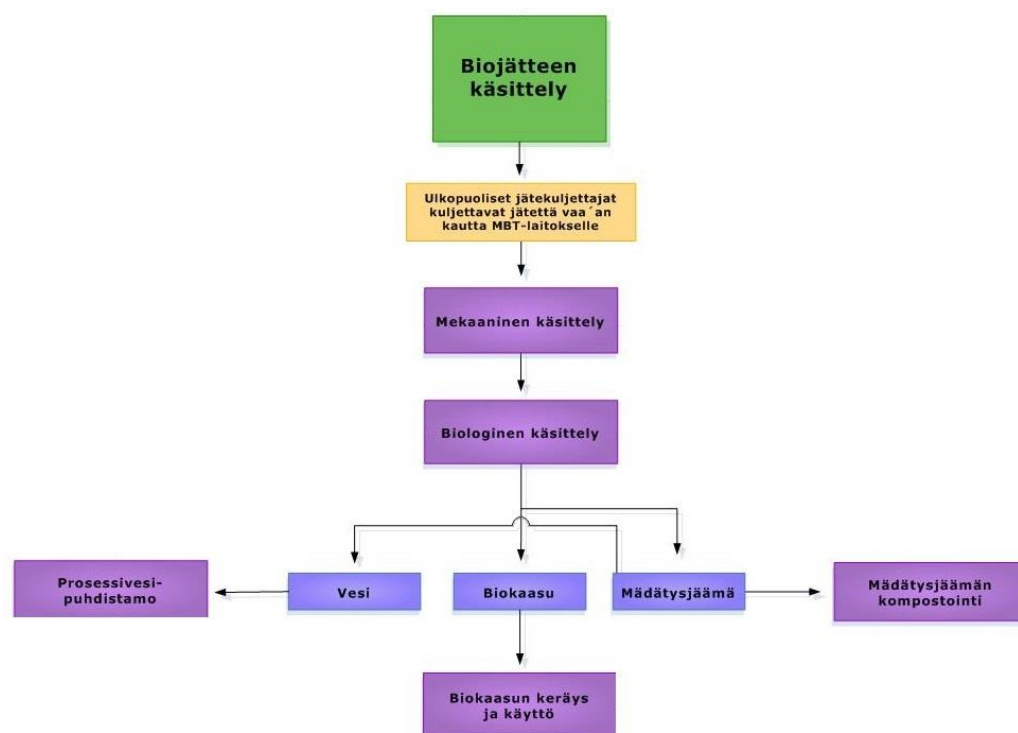
2.2 Biokaasun tuotanto osana jätteenkäsittelyjärjestelmää

Biokaasun raaka-aineena eli syötteenä voidaan käyttää lähes kaikkea biohajoavaa materiaalia kuten viljeltyä biomassaa, jätevedenpuhdistamojen lietteitä, elintarviketeollisuuden sivutuotteita tai biojätettä. Suomessa on käytetty biokaasua ensimmäisenä Helsingin kaupungin yhtiöiden ja paikallisliikenteen ajoneuvojen polttoainetarpeisiin 1940-luvulla. Tiettävästi Suomi oli Saksan ja Ruotsin jälkeen maailman kolmas maa, joka otti biokaasun liikenteen polttoaineeksi. Käyttöä ei kuitenkaan jatkunut kuin muutamia vuosia. Myös maatiloilla kokeiltiin bioreaktorien rakentamista jätteiden tilakohtaista käsittelyä varten, mutta vastoinkäymisten vuoksi näiden laitosten kehittäminen ja toiminta oli lyhytaikaista. Myöhemmin 1980- ja 1990-lukujen taitteessa alettiin mädätystekniikasta kiinnostua uudestaan, ja tuolloin huomattiin että myös yhdyskuntajätteet, erityisesti erilliskerätty biojäte, soveltuvat biokaasutuotannon raaka-aineeksi. /1, 1; 22, 153; 50, 16/.

1990-luvulla Suomessa on rakennettu muutamia anaerobisia biojätteiden käsittelylaitoksia, jotka toimivat edelleen, mutta suurin osa toimivista laitoksista on rakennettu vasta 2000-luvulla. Mädätyksen lisäksi erilliskerättyä biojätettä käsitellään monilla alueilla kompostoimalla. Kompostointilaitokset ovat yleisesti vanhempia kuin biokaasulaitokset. Biokaasun liikennekäyttöön palattiin takaisin vasta 2000-luvun alussa. /23; 50, 16/.

2.3 Biokaasu Stormossenilla

Stormossenilla tuotetaan biokaasua kahdella bioreaktorilla. BR1:ssä käsitellään jätevesilietettä ja BR2:ssa biojätteitä. Molemmista reaktoreista saadaan lopputuotteina biokaasua ja mädätysjäämää. Mädätysjäämä on tuotteistettu siten, että se kompostoidaan kompostointikentällä ja myydään edelleen kompostimultana maanparrusaineeksi. Biokaasu varastoidaan kaasuväaraan ja sitä käytetään Stormossenin omaan energiantuotantoon. Lisäksi muutamat lähialueen yritykset sekä urheilu- ja monitoimihalli Botniahalli käyttävät kaasua energiatarpeisiinsa. Vuoden 2016 aikana on tarkoitus alkaa valmistaa biokaasusta liikennepolttoainetta ja perustaa liikennekaasun jakeluasema Stormossenille Koivulahteen. /11, 2, 19/. Biokaasutuotannon pääprosessit on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Biokaasutuotannon pääprosessit Stormossenilla. /24/.

Stormossenin biokaasulaitostyyppi on Citec Oy:n varta vasten Stormossenille suunnittelema. Prosessia kutsutaan nimellä Waasa Process. /22, 231/.

Vuonna 2013 Stormossenilla tuotettiin yhteensä noin 1 738 000 m³ biokaasua, josta noin 510 000 m³ BR2:ssa. Tuotetusta kaasusta 69 % muutettiin energiaksi. Vuonna 2013 tuotetun kaasun kokonaismäärää laski BR2:lle tehty huolto, jonka vuoksi BR2 oli poissa käytöstä pitkään. Normaalina vuonna biokaasua on tuotettu noin 2 100 000 m³. /11, 26–29; 25/.

Vuodelle 2015 on asetettu tavoitteeksi tuottaa 2 800 000 m³ biokaasua. Tavoite on, että ”90 % kaikesta tuotetusta biokaasusta muutetaan energiaksi ympäristöystävällisellä ja taloudellisesti optimaalisella tavalla.” /26/. Kaikesta biokaasusta 1 600 000 m³ on tarkoitus tuottaa BR2:ssa. Tämä tarkoittaa, että kuukaudessa reaktoriin tulisi syöttää yli 1000 t biojätettä. Stormossenin vuoden 2020 visiossa kaikki tuotettu biokaasu käytetään ajoneuvopolttoaineena – pääasiassa paikallisliikenteessä ja jäteautoissa. /11, 7; 13/.

2.4 Biokaasun hyödyntäminen

Yleisimmät vaihtoehdot biokaasun hyödyntämiselle ovat lämmöntuotanto, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP) sekä käyttö liikennepolttoaineena. Biokaasua on kannattavinta käyttää paikalliseen energiantuotantoon, sillä sen siirtäminen pitkän välimatkan päähän ei yleensä ole kannattavaa. Hyödyntämistavan valintaan ei siis yleensä vaikuta esimerkiksi laitoksen koko tai käytettävä syötemateriaali. Yleisesti biokaasun hyödyntäminen on aina polttoa. Kaasun energiasisältö on metaanissa, jonka palamisreaktio on esitetty yksinkertaistettuna kaavassa (1). /27, 44–45/.



Lämmöntuotanto on yleinen ratkaisu biokaasun hyödyntämiseksi, sillä se on varsin yksinkertainen toteuttaa, käyttää ja valvoa. Näin ollen se ei myöskään vaadi suuria investointeja. Käytännössä kaasu poltetaan sellaisenaan kaasupolttimella lämmöksi. Kaasupolttimilla saadaan hyödynnettyä jopa 95 % biokaasun sisältämästä energiasta. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (CHP) biokaasua käytetään kaasumoottorin tai mikroturbiinien polttoaineena. Moottorilla käytetään sähköä tuottavaa generaattoria. Sähkön osalta hyötysuhde on yleensä noin 25–40 %. Lisäksi moottorin pakokaasuista ja jäähdytysjärjestelmästä kerätään lämpöenergiaa. CHP-käytössä kokonaishyötysuhde voi suurimmissa laitoksissa olla parhaimmillaan 70–90 %. /27, 45–46/.

Jotta biokaasu kelpaisi liikennepolttoaineeksi, on siitä poistettava epäpuhtaudet sekä hiilidioksidi, jolloin jäljelle jää vain metaanikaasu, jota voidaan kutsua myös biometaaniksi. Valmis kaasu voidaan rinnastaa maakaasuun ja käyttää samaan tapaan kaasukäyttöisten kulkuvälineiden polttoaineena. Yleisimmin kaasun puhdistamisen tekniikkana käytetään vesipesua. Menetelmässä hyvin veteen liukenevat yhdisteet kuten hiilidioksidi ja rikkivety sitoutuvat veteen ja metaani huonosti liukenevana kuplii vesikerroksen läpi. Vesipesun jälkeen kaasu kuivataan ja paineistetaan tyypillisesti 200 – 300 bar paineeseen. Muita yleisiä jalostuslaitostyypppejä ovat aminopesurilaitokset ja ns. pressure swing -laitokset. /27,47; 25; 28/.

Tilanteissa, joissa biokaasua ei pystytä esimerkiksi ylituotannon tai CHP-laitoksen vian vuoksi hyödyntämään, tarvitaan kaasun käsittelylle vararatkaisu. Monilla laitoksilla vararatkaisuna toimii soihtupoltto. Soihtupolttoa tulisi pyrkiä pitämään mahdollisimman lyhytaikaisena ratkaisuna, sillä siinä energia menee täysin hukkaan. Soihtupoltolla vähennetään biokaasun ilmastovaikutuksia, sillä poltossa syntyvän hiilidioksidin ilmastovaikutus on pienempi kuin metaanilla, jos metaani vapautuisi sellaisenaan ilmakehään. /27, 48/.

3 BIOKAASUN MUODOSTUMINEN

Tässä luvussa käsitellään biokaasun muodostumisen teoriaa. Esiteltäviä asioita ovat erilaiset syötteet, tyypillinen biokaasuprosessi ja tärkeimmät prosessin tehokkuuteen vaikuttavat seikat.

3.1 Metaanintuottopotentiaali

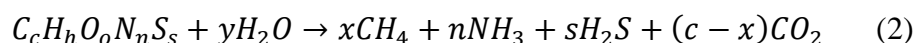
Metaanintuottopotentiaali riippuu käytettävästä syötteestä. Vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin hiilihydraattipitoisuus, kuiva-ainepitoisuus ja orgaanisten yhdisteiden osuus kuiva-aineessa. Biokaasua syntyy tehokkaammin helposti biohajovista materiaaleista kuten hiilihydraateista, proteiineista ja rasvoista. /29, 22/.

Kun prosessissa käytetään syötteenä biojätettä, ovat metaanintuottopotentiaalit taulukon 1 mukaiset. Muodostuvan biokaasun määrään voidaan vaikuttaa erilaisilla esikäsittelytekniikoilla. Oleellisia parametrejä ovat syöteseoksen kuiva-ainepitoisuus sekä hehkutushäviö. Hehkutushäviötä käytetään orgaanisen aineen pitoisuuden arvioimisessa. /27, 23–24/.

Taulukko 1. Esimerkkejä metaanintuottopotentiaaleista. /27, 23/.

Syöte	m^3CH_4/t orgaanista ainetta	m^3CH_4/t märkäpaino
Biojäte	500-600	100-150

Kaava (2) on yleistys siitä miten biomassan osista muodostuu erilaisia kaasuja biokaasuprosessissa. /15, 99/.



jossa

$$x = \frac{1}{8}(4c + h - 2o - 3n - 2s)$$

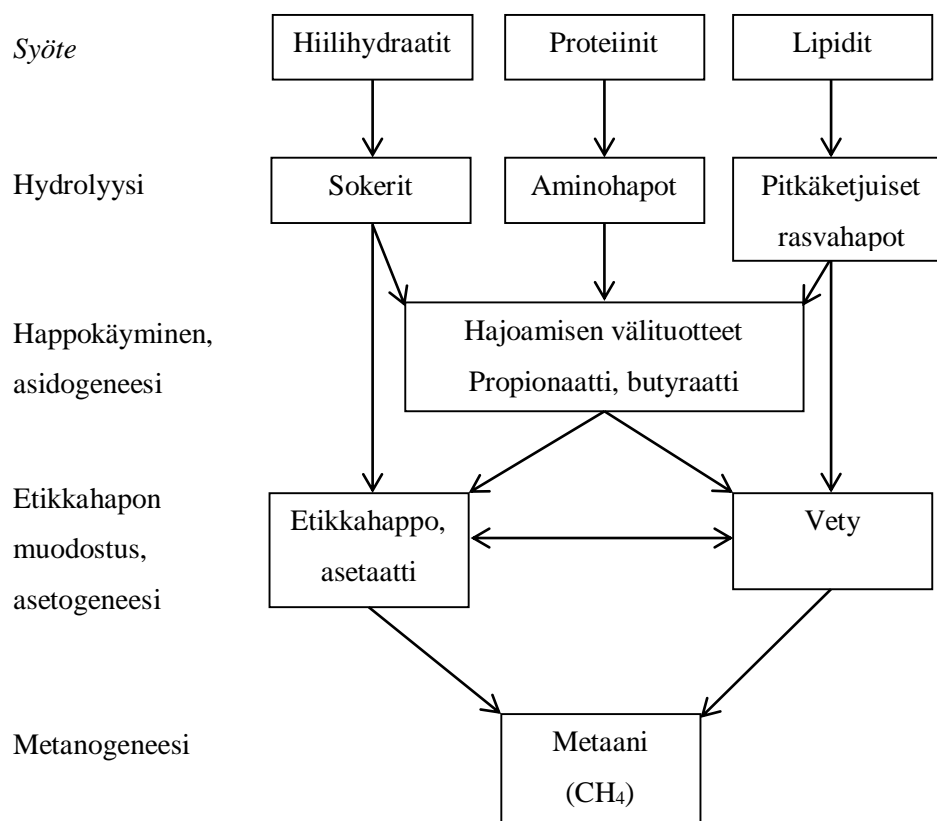
$$y = \frac{1}{4}(4c - h - 2o + 3n + 2s)$$

3.2 Biokaasuprosessi

Biokaasuprosessissa käsiteltävästä syötteestä tuotetaan biokaasua anaerobisissa olosuhteissa. Hapettoman reaktorin lämpötila on mesofiilisessä prosessissa noin 35–37 °C ja termofiilisessä prosessissa noin 50–55 °C. Termofiilinen prosessi on herkempi lämpötilan ja pH:n vaihtelulle, mutta sillä saavutetaan parempi hygienisointitulos ja nopeampi käsittelyaika. Nopeamman käsittelyajan myötä voidaan käyttää korkeampaa kuormitusta eikä reaktoritilan tarve ole yhtä suuri kuin mesofiilisessä prosessissa. Tässä työssä käsitellään termofiilistä prosessia. /27, 29, 34/.

Prosessissa mikrobikannat käyttävät ravinnokseen syötteessä olevaa orgaanista ainetta eli mm. proteiineja, hiilihydraatteja ja lipidejä. Nämä hajoavat sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi, ja edelleen etikkahapoksi ja vedyksi. Bakteerit tuottavat metaania etikkahaposta ja vedystä. Yhden syöte-erän käsittelyaika on noin 12–30 vuorokautta. Kaasun lisäksi prosessissa syntyy toisena hyödynnettävänä lopputuotteena hydrolyysijäännöstä eli mädätettyä biomassaa, jota voidaan kompostoinnin jälkeen käyttää viherrakentamisessa tai lannoitteena eli maanparannusaineena. /27, 29; 29, 22/.

Kaasun muodostumisprosessi on esitetty kuviossa 5. Syötteen sisältämistä hiilihydraateista, proteiineista ja lipideistä muodostuu hydrolyysissä sokereita, aminohappoja ja pitkäketjuisia rasvahappoja. Happokäymisen eli asidogeneesin vaiheessa osasta näistä muodostuu propionaattia ja butyraattia, joista asetogeneesin vaiheessa muodostuu sokereiden ja rasvahappojen kanssa etikkahappoa, asetaattia ja vetykaasua. Metanogeneesin vaiheessa metaania tuottavat bakteerit kuluttavat etikkahappoa ja vetyä ja tuottavat metaania. Muut biokaasun osat muodostuvat sivutuotteina prosessin eri vaiheissa. /27, 29/.



Kuvio 5. Biokaasun muodostumiskaavio. /27, 30/

Tyypillinen biokaasureaktori on teräksestä tai betonista rakennettu pystysäiliö, joka on noin 20–30 % suurempi kuin käsiteltävä syötemäärä. Reaktoria lämmitetään yleensä biokaasusta saatavalla energialla, ja tyypillisesti saatavasta energiasta noin 10–40 % kuluu lämmitykseen. Useimmat reaktorit ovat jatkuvatoimisia, eli syötettä lisätään puolijatkuvasti, esimerkiksi kerran tunnissa tai kerran vuorokaudessa. Käsittelyjäännöstä poistetaan reaktorista vastaavasti. Toinen reaktorityyppi on panosreaktori, jossa reaktoriin lisätään kerralla koko sen kapasiteettia vastaava erä syötettä. Syöte on reaktorissa sellaisenaan koko mädätysprosessin ajan. Jatkuvatoimiseen reaktoriin verrattuna panosreaktorin käsittelyaika on pidempi ja kaasuntuotto epätasaisempaa. /22, 159; 27, 30/.

3.3 Prosessin tehostamiskeinot

Prosessin tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa

- reaktorin lämpötila

- reaktorin pH
- kaasun käyttö massan sekoittamiseen
- syötteen ominaisuudet: kuiva-aineen määrä ja haihtuvien aineiden määrä
- erilaisten syötteiden sekoittaminen keskenään
- mädätysaika ja
- prosessiin lisättävät lisäravinteet. /3, 138/.

Biokaasuprosessia voidaan tehostaa muuttamalla prosessia vastaamaan paremmin parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) henkeä. Paras käytettävissä oleva tekniikka on aina laitospesäinen ratkaisu, jossa toiminnan erityispiirteet huomioon ottaen optimoidaan laitoksen toimintaa kohti pienempiä ympäristövaikutuksia, parempaa teknistä käyttökelpoisuutta sekä taloudellisuutta. /27, 69/.

Teknisen käyttökelpoisuuden osalta eräs oleellinen prosessin tehostamiskeino on esikäsittelytekniikan parantaminen siten, että se vastaa käytettävän syötteen esikäsittelyvaatimuksia. Syötteen ominaisuudet kuten olomuoto, palakoko, erilaisten syötetyyppien määrä, kuiva-ainepitoisuus ja haitta-aineiden kuten erilaisten metallien pitoisuudet vaikuttavat vaadittaviin esikäsittelytoimenpiteisiin. Syötteelle tapahtuvat muutokset vaikuttavat aina prosessin toimintaan jollakin tapaa. Merkittävät muutokset kuten syötteen koostumuksen täydellinen muuttuminen voivat johtaa jopa prosessin keskeytymiseen. /27, 69–70/.

Syötettä muokataan esikäsittelyssä paremmin käsiteltävissä olevaan muotoon ja poistetaan siitä epäpuhtauksia ja esimerkiksi poltettavaa jätettä. Paremmin käsiteltävissä oleva muoto tarkoittaa käytännössä pienempää raekokoa. Raekokoa pienentämällä saadaan syöte tasalaatuisemmaksi ja voidaan saavuttaa parempi hygienisoituminen ja käsittelyteho. Lisäksi syötemassan sekoitettavuus paranee. /27, 23/.

Optimaalisella kuormituksella saavutetaan paras kaasuntuotto. Liiallinen syöttö johtaa suureen orgaaniseen kuormitukseen, mikä saa haponmuodostajabakteerien aktiivisuuden lisääntymään. Tämän myötä rasvahappojen pitoisuus nousee ja massan pH laskee. Metaania tuottavat bakteerit kärsivät liian matalasta pH:sta ja niiden toiminta häiriintyy. Näin ollen myös biokaasun tuotto ja kaasun metaanipitoisuus laskevat. Liian vähäinen syöttö johtaa tilanteeseen, jossa liian korkean pH:n vuosi

haponmuodostajabakteerien toiminta häiriintyy, ja pahimmassa tapauksessa koko prosessi pysähtyy. Metaanintuottajabakteerien kannalta optimaalinen pH on 6,5–7,5, kun taas haponmuodostajabakteerien kannalta optimaalinen alue on 5,2–6,3. /27, 34–35/.

Viipymääjan pituus on tyypillisesti noin 12–30 vuorokautta, joskin termofiilisessä prosessissa muutamia päiviä lyhyempi. Liian lyhyt viipymäaika johtaa prosessin pysähtymiseen. Aikaa ei voida laskea ennakolta tarkasti, vaan se on etsittävä laitospöytätyöstä. Viipymäaika on riittävä, kun käsittelyjäännöksen reduktio on noin 50–60 % eikä tuotanto vaihtelee suuresti. Pitkällä viipymäajalla saadaan parempi tulos biokaasun määrässä ja käsittelyjäännöksen hygienisoitumisessa, mutta toisaalta se vaatii enemmän lämmitystä ja sekoitusta, mikä kuluttaa energiaa. Liian lyhyellä viipymäajalla päädytään reaktorin ylikuormitukseen, jolloin kaasuntuotto laskee ja hajoaminen on vähäisempää. /14; 27, 35/.

Jotta varmistettaisiin tasainen lämpöjakauma ja hyvä kontakti orgaanisen aineksen ja mikrobien välillä, sekoitetaan reaktorissa olevaa syötöseosta tasaisesti. Sekoitus estää myös pintakerroksen kovettumista, ja siten helpottaa biokaasun talteenottoa. Sekoittaminen tapahtuu useimmissa tapauksissa potkurityyppisellä sekoittajalla. Sekoitus voidaan järjestää myös pumppaamalla muodostunutta biokaasua reaktorin alaosaan, josta se nousee syötemassan läpi. Toinen näkemys on, että sekoitus voi häiritä mikro-organismien toimintaa ja sitä kautta laskea reaktorin suorituskykyä. Kuten monet muutkin tekijät, sekoituksen merkittävyys riippuneen kunkin reaktorin ominaispiirteistä. /27, 31; 30, 327/.

4 BIOKAASUN KOOSTUMUS JA OMINAISUUDET

Luvussa esitellään biokaasun koostumuksen päätekijät ja näiden kaasujen ominaisuuksia. Myös näiden aineiden ilmastovaikutuksia esitellään, sillä biokaasua saattaa päästä joskus karkaamaan ilmakehään erilaisten tekijöiden vuoksi. Jotta nämä vaikutukset vältettäisiin, tulisi tuotannon täyttää seuraavat kriteerit

1. tiivis ja hyvin suunniteltu reaktori
2. riittävä käsittelyaika ja
3. mädätysjäähän säilytyksessä syntyvän metaanin talteenotto. /3, 115/.

Biokaasu koostuu pääosin metaanista (50–75 %) ja hiilidioksidista (25–50 %). Jotta kaasua voitaisiin kutsua biometaaniksi, se jalostetaan siten, että metaanipitoisuudeksi tulee noin 98 %, jolloin se vastaa ominaisuuksiltaan maakaasua. Raa'an biokaasun muita osia ovat typpi, ammoniakki, rikkivety, halogenoidut hiilivedyt ja siloksaanit. Biokaasu on syttyvää, jos sen metaanipitoisuus on yli 45 %. Metaanipitoisuudesta riippuen kaasun energiasisältö on 6,0–6,5 kWh/m³, mikä vastaa 0,6–0,65 l öljyä. Kaasun tiheys on 1,2 kg/m³ ja moolimassa 16,043 g/mol. /1, 2; 15, 85–86/.

4.1 Metaani

Metaani (CH₄) on hajuton ja väritön kaasu. Se luetaan kasvihuonekaasuksi ja sen kasvihuonekaasuvaikutus on 20–70-kertainen verrattuna hiilidioksidiin. Metaanin tiheys on 0,07172 kg/m³ ja lämpöarvo 15 °C:ssa ja 101,3 kPa:ssa 37,71 MJ/m³. Luonnossa metaania muodostuu anaerobisissa ympäristöissä kuten suo ympäristössä, sedimenteissä ja märehitijöiden pötsseissä. Suuret metaanipitoisuudet aiheuttavat hapenpuutetta. /22, 153–157; 27, 59, 68; 31; 49/.

Metaanin osuus ilmakehässä on noussut merkittävästi teollisella aikakaudella, sillä sen määrä on yli kaksinkertaistunut verrattuna sen määrään esiteollisella aikakaudella. Lähes kaikki tästä kasvusta on tapahtunut 1900-luvun aikana. Metaanin

määrä ilmakehässä on kehittynyt hyvin samanlaisella trendillä kuin hiilidioksidinkin määrä. Määrän nousua on perusteltu ihmisten toiminnalla kuten kasvaneella ruuantuotannolla ja fossiilisten polttoaineiden käytöllä. Metaanin elinikä ilmakehässä on noin 10–15 vuotta. /32, 191–198/.

4.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi (CO_2) on väritön ja lähes hajuton kaasu. Hiilidioksidi on ilmaa raskeampaa. Hiilidioksidi on tunnetuimpia kasvihuonekaasuja, ja sillä on voimakas merkitys ilmastolle aiheutuvien muutoksien aiheuttajana. Hiilidioksidia syntyy hiilen ja hiiliyhdisteiden poltossa, ja merkittävimpiä hiilidioksidin lähteitä ovatkin fossiiliset polttoaineet sekä sementtiteollisuus, missä hiilidioksidia syntyy kalkkikiven poltossa. Energiayksikköä kohden eniten hiilidioksidia syntyy kuivien polttoaineiden kuten kivihiilen ja öljyn käytöstä. Vastaavasti maakaasun ja biopolttoaineiden käytössä hiilidioksidia syntyy vähemmän. Täysin uusiutuvia polttoaineita, kuten biokaasua, pidetään hiilidioksidineutraaleina, eli niiden poltossa syntyvä hiilidioksidi ei kuormita ilmakehää, vaan tätä hiilen kiertoa pidetään normaalina luonnon kiertokulkuna. /3, 114; 27, 68; 33, 15–16/.

Hiilidioksidin osuus ilmakehässä on noussut teollistumisen myötä merkittävästi metaanin tapaan. Hiilidioksidin elinaikaa ilmakehässä on vaikea määritellä, sillä se ei hajoa kemiallisten tai fotokemiallisten reaktioiden myötä. Keskimäärin yksi hiilidioksidimolekyyli on ilmakehässä muutamia vuosia, minkä jälkeen se joko liukenee mereen tai jokin kasvi käyttää sen fotosynteesissä. Kuitenkin jälleen keskimäärin muutaman vuoden kuluttua hiilidioksidi vapautuu jälleen ilmakehään. Näin ollen tämä hiilidioksidin sitoutuminen on vain väliaikaista. /32, 184–186/.

4.3 Happi ja typpi

Biokaasun typpipitoisuus kertoo yleensä vuodoista kaasuntuotantojärjestelmässä. Jos järjestelmään pääsee pääosin hapesta ja tuestä koostuvaa tavallista ilmaa, kuluttaa prosessi tuosta ilmasta hapen, mutta jäljelle jää typpi. Joskus ilmaa myös lisätään tarkoituksellisesti reaktoriin, jolloin tarkoituksena on vähentää kaasun rikkivetyypitoisuutta. Myös tällöin tuotekaasu sisältää pienen määrän typpeä. /1, 332/.

Hapella on biokaasuprosessia inhiboiva vaikutus. Vaikutus ei näy prosessin alkupuolella happokäymisen vaiheessa, mutta metanogeneesiin eli varsinaiseen metaanin muodostumisen vaiheeseen osallistuvat bakteerit eivät siedä happea elinolosuhteissaan. Inhiboiva vaikutus alkaa, kun happea on $0,1 \text{ mg/l}$. Kuitenkaan pieni määrä happea prosessissa ei ole haitaksi, sillä käytännön oloissa bakteerikannassa on aina läsnä myös happea kuluttavia bakteereja, jotka kuluttavat vähäisen määrän happea välittömästi, kun happea esiintyy. Näin systeemi ylläpitää itse hapettomia olosuhteita reaktorissa. /15, 131/.

4.4 Ammoniakki

Ammoniakki on myrkyllinen kaasu, jossa on pistävä haju ja tukahduttava vaikutus. Se on väritöntä ja ilmaa kevyempää – ammoniakkin tiheys on $0,7719 \text{ g/l}$. Ammoniakilla on hyvä liukenevuus veteen. 0°C :ssa sitä liukenee $89,9 \text{ g} / 100 \text{ cm}^3$, ja muodostuva liuos on väritön tai kellertävä. /34, 170/.

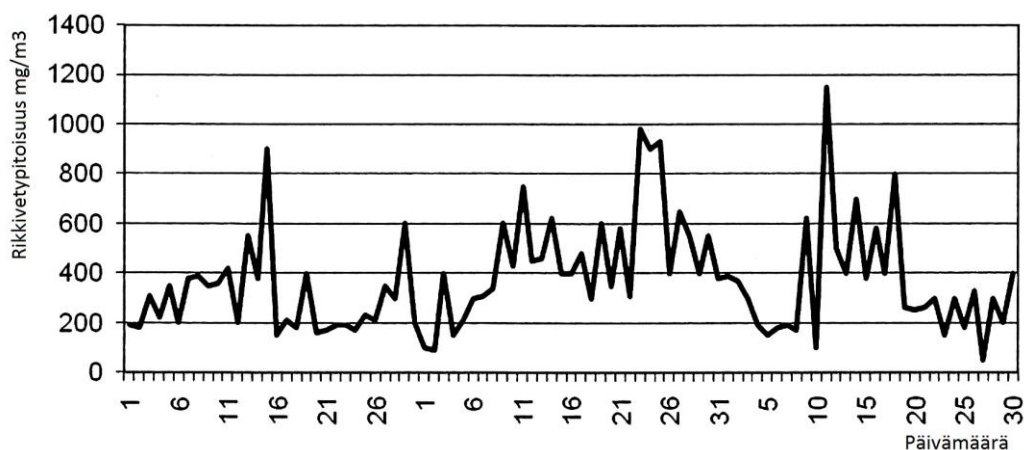
Suurina pitoisuuksina ammoniakkin hengittäminen voi aiheuttaa hengityselinten sairauksia. Biokaasulaitoksella on kuitenkin epätodennäköistä altistua terveydelle haitalliselle pitoisuudelle, sillä ammoniakkia syntyy prosessissa varsin vähän ja ilmakehään vapautuessaan yhdisteet laimenevat nopeasti. Ammoniakkia irtoaa prosessin hydrolyysivaiheessa aminohapoista ja se liukenee käsittelyjäännökseen. Suurella määrällä ammoniakkia on prosessille inhiboiva vaikutus. Ammoniakin suuri pitoisuus saattaa vaikuttaa myös palotapahtumaan kaasumootorissa ja sitä kautta kaasumootorin käyttöikään. /1, 332; 15, 93; 27, 29, 68/.

4.5 Rikkivety

Yleisin biokaasussa esiintyvä rikkiyhdiste on rikkivety (H_2S). Rikkivetyä syntyy bakteeritoiminnan tuotteena reaktoriin syötteen mukana tulevasta sulfaattista. Sulfaattia sisältäviä syötteitä ovat esimerkiksi eräät proteiinit. Rikkivety on myrkyllistä, syövyttävää, palavaa ja pahanhajuista, ja biokaasun lisäksi sitä esiintyy kaatopaikkakaasussa, maakaasussa, jätevesistä muodostuvissa kaasuissa ja synteisi-
kaasussa. Rikkivety on heikko happo, ja se hajoaa vetysulfidiksi (HS^-) ja sulfidiksi (S^{2-}). Luonnossa useat mikro-organismit hillitsevät rikkivedyn esiintymistä, sillä ne

käyttävät rikkiä omaan kasvuunsa hapetuksen tai pelkistyksen kautta. Rikkivety liukenee veteen hyvin – jopa $437 \text{ cm}^3 / 100 \text{ cm}^3$ ($0 \text{ }^\circ\text{C}$). Kaasun tiheys on $1,539 \text{ g/l}$. /1, 331–332; 30, 294; 34, 130/.

Rikkivetykaasu on hieman ilmaa tiheämpää väritöntä ja palavaa, ja sen pitoisuus biokaasussa riippuu prosessista ja käytettävästä syötteestä. Usein jäteperäisessä biokaasussa rikkivetyä on vähemmän kuin liete- tai maatalousperäisessä biokaasussa. Niin ikään kiinteämuotoista syötettä käytettäessä rikkivetyä syntyy vähemmän kuin nestemäisestä syötteestä. Tyypillisesti rikkivetyä on kaasussa enimmillään 2000 ppm . Kuviossa 6 nähdään esimerkki siitä, miten biokaasun rikkivetypitoisuus voi vaihdella päivästä riippuen. /15, 93/.



Kuvio 6. Esimerkki rikkivedyn päiväkohtaisesta vaihtelusta. /15, 94/.

4.6 Halogenoidut hiilivedyt

Halogenoidut hiilivedyt ovat hiilivetyjä, joihin on sitoutunut klooria, bromia tai fluoria. Niitä päätyy biokaasuun syötteen mukana. Reaktorissa halogeenit siirtyvät syötteestä kaasuun haihtumalla. Halogenoidut hiilivedyt voivat palaessaan aiheuttaa korroosiota ja happamia päästöjä, sillä palamistapahtumassa muodostuu happoja. /1, 333/.

4.7 Siloksaanit

Siloksaanit ovat silikonien alaryhmä. Ne koostuvat pii-happi-ketjusta, johon on sitoutunut metyylejä, etyylejä ja muita toiminnallisia ryhmiä. Biokaasujen siloksaaanit ovat lineaarisia tai syklisiä metyyლისiloksaaneja. Siloksaanit hapettuvat palaessaan piioksidiksi. Piioksidi taas on haitallista kaasumoottorin käytön kannalta, sillä sitä kertyy esimerkiksi mänttiin, sylinteriin ja sytytystulppiin. Moottoriin kertynyt piioksidi voi aiheuttaa nakutusta ja johtaa sitä kautta kaasumoottorin vaurioitumiseen. Moottoria voidaan säätää nakutuksen poistamiseksi, mutta samalla menetetään osa moottorin tehosta. Siloksaanit voivat aiheuttaa muutoksia moottorin käyntiin ja huoltoväleihin jo 15 mg/m^3 pitoisuuksina. /27, 42; 35, 1711/.

Siloksaaneja käytetään runsaasti esimerkiksi kosmetiikkateollisuudessa, sillä ne eivät ole allergisoivia eivätkä myrkyllisiä, mutta niiden ominaisuudet kuten hyvä puristuksenkestävyys, pieni pintapaine ja lämpötilastabiilius ovat hyödyllisiä monissa sovelluksissa. Kosmetiikan lisäksi niille käytetäänkin esimerkiksi lääketieteessä ja maaliteollisuudessa. Siloksaaneja ei yleensä synny biokaasuprosessissa, vaan ne päätyvät kaasuun syötteen mukana sellaisenaan. Siloksaanit eivät ole pysyviä yhdisteitä, vaan ne hajoavat ilmakehässä. Hajoamistuotteina syntyy silanoleja ja karbonyyliyhdisteitä, jotka taas hajotessaan muodostavat hiilidioksidia. /35, 1711 – 1712/.

4.8 Kaasun muut osat

Edellä esiteltyjen aineiden lisäksi biokaasu voi sisältää pieniä määriä hiilimonoksidia, klooria, fluoria, merkaptaaneja ja aromaattisia hiilivetyjä. Näiden pitoisuus on yleensä häviävän pieni – aromaattisten hiilivetyjen osalta alle 1 mg/m^3 , hiilimonoksidin osalta alle 0,2 % ja muiden mainittujen osalta alle $0,1 \text{ mg/m}^3$. Lisäksi raaka biokaasu sisältää vesihöyryä noin 40 g/m^3 . /15, 92–95/.

5 BIOKAASUN RIKKIVETYPITOISUUDEN HALLINTA

Rikkivety lyhentää putkistojen ja kaikkien kaasun kanssa tekemisissä olevien komponenttien elinikää, sillä se on hapan kaasu ja se syövyttää voimakkaasti monia metalleja. Rikkivetytitoisen biokaasun palamistapahtumassa muodostuu rikin oksideja, jotka sekä syövyttävät metalleja että happamoittavat moottorissa käytettävää öljyä. Poltettaessa rikkivety aiheuttaa myös rikkihappopäästöjä. Rikkivedyn poistolla tai pitoisuuden pienentämisellä voidaan ennaltaehkäistä mm. kaasumoottorin ja putkistojen vaurioita. Usein rikkivetyä pyritään poistamaan siinä vaiheessa, kun biokaasu on vielä reaktorissa. /15, 93, 442/.

Rikkivedyn osuus biokaasusta pitäisikin siis pyrkiä pitämään mahdollisimman alhaisena. Laitoksen toiminnan kannalta 100–500 mg/m^3 rikkivetytitoisuuden rajaa ei pitäisi ylittää. Puhdistetun biokaasun rikkivetytitoisuuden hyvä tavoitearvo on 20 mg/m^3 . Tätä on kuitenkin vaikea saavuttaa yksittäisellä biologisella tai fysikaalis-kemiallisella toimenpiteellä. Tämän vuoksi voidaan käyttää useamman toimenpiteen yhdistelmää, esimerkiksi vesipesua ja aktiivihilisuodatusta. /15, 442/.

5.1 Raudan käyttö

Rikkivetyä voidaan hajottaa raudan avulla. Rautaionit reagoivat rikkivedyn kanssa muodostaen erittäin vähäliukoista rautasulfidia, joka poistetaan reaktorista yhdessä mädätysjäätymän kanssa. Reaktioita on useita erilaisia, ja niistä on esitetty esimerkit kaavoissa (3) ja (4). Erilaiset rautasuolat sisältävät ionimuotoista rautaa Fe^{2+} tai Fe^{3+} . Niinpä biokaasun rikkivedyn osuutta voidaan pienentää esimerkiksi lisäämällä ferrikloridia tai ferrosulfaattia reaktoriin. Lisäämällä ferrikloridia (FeCl_3) syötteeseen 3-5 g syötekuutiometriä kohti voidaan saavuttaa parhaimmillaan alle 150 mg/m^3 rikkivetytitoisuuksia. /15, 447; 36, 7/. Toisaalta erään kemikaalivalmistajan Kronos ecochemin mukaan tarvittava annostus on 100–220 g rautaa syötetönä kohti riippuen syötteen laadusta /37, 3/. Tarvittava raudan määrä tulee tutkia laitoskohtaisesti.





Rautaionit voidaan tuoda reaktoriin myös rautaoksidien tai -hydroksidien muodossa. Periaate on sama kuin rautasuolan lisäämisessä, eli rautahydroksidin sisältämät rautaionit reagoivat rikkivedyn kanssa muodostaen liukenemattomia yhdisteitä ja alkuainerikkiä, jotka voidaan poistaa reaktorista mädätysjäämän mukana. Ferrihydroksidin liukoisuus veteen on huono, mutta happoihin ja emäksiin se liukenee paremmin. Hapan rikkivety voikin reduktiivisesti liuottaa ferrihydroksidia. pH:n ollessa yli 7, kuten bioreaktoreissa yleensä on, liuennut rauta voi reagoida rikkivedyn rikin kanssa muodostaen rautasulfaattia FeS. Lisättäessä rautaa suoraan reaktoriin, tulee annostelun olla oikeassa mittakaavassa, sillä liiallinen rauta voi myös inhiboida prosessia. /3, 154; 38, 1671–1674/.

Ionimuotoista rautaa voidaan käyttää myös rautakelaatin muodossa. Tällöin tarvitaan erillinen säiliö reaktion tapahtumiseksi, sillä rautakelaattia käytetään vesiliuoksena. Biokaasu johdetaan tähän vesisäiliöön, jolloin rikkivety reagoi kolmiarvoisen raudan kanssa. Reaktiossa muodostuu kahdenarvoista rautaa, rikkiä ja vetyioneja. Kahdenarvoinen rauta voidaan regeneroida takaisin kolmiarvoiseksi hapen avulla. Jos biokaasu sisältää happea, regeneroitumista tapahtuu samassa vesisäiliössä itse reaktion kanssa. Kuitenkin regeneroimista varten voidaan rakentaa myös toinen säiliö. Jos happea tai hiilidioksidia on liikaa, voi liuoksen pH muuttua, jolloin se on neutraloitava ennen kuin sitä voidaan kierrättää takaisin järjestelmään. Rautakelaattia käyttämällä voidaan poistaa jopa 99,9 % biokaasun sisältämästä rikkivedystä. /15, 448/.

Rautaa voidaan käyttää kaasun puhdistamiseen reaktorin jälkeisenä toimenpiteenä myös toisella tavalla. Tällöin rautaa käytetään oksidi- tai hydroksidimuotoisena. Rikkivedyn ja rautaoksidin tai -hydroksidin reaktiossa muodostuu rautasulfidia (FeS) samaan tapaan kuin lisättäessä rautaioneja suoraan reaktoriin. Tätä reaktiota voidaan hyödyntää rikkivedyn poistamiseksi biokaasusta johtamalla raaka biokaasu rautaoksidia tai -hydroksidia sisältävän rakenteen läpi. Rakenne voidaan valmistaa esimerkiksi ruosteisesta teräsvillasta, rautaoksidilla pinnoitetuista puulastuista tai

samoja yhdisteitä sisältävistä pelleteistä. Kun rakenne on kylläinen rikkistä, se vaihdetaan tai regeneroidaan ilmalla. /39, 23/.

5.2 Aktiivihiilisuodatus

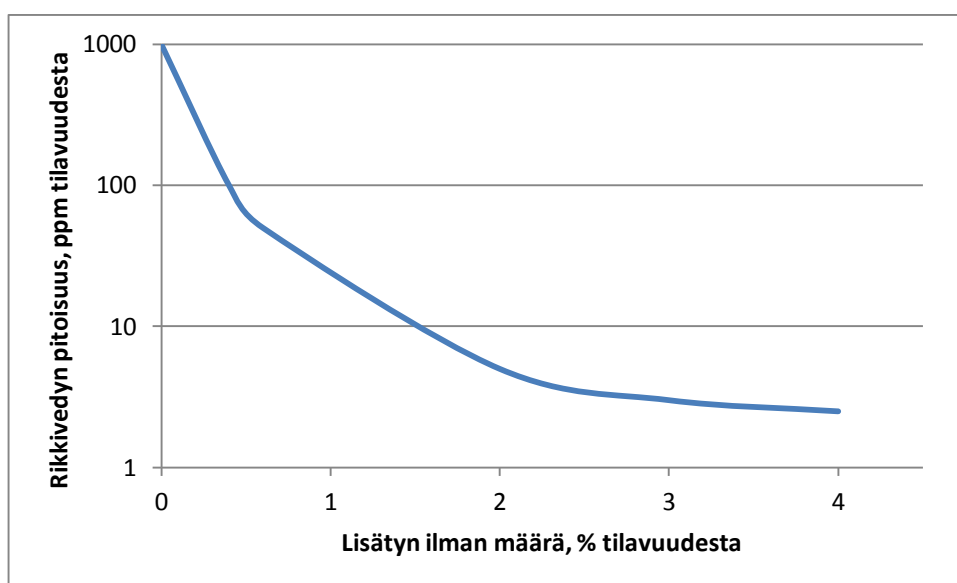
Aktiivihiilisuodatuksen toiminta perustuu adsorptioon. Siinä kaasumainen rikkivety muodostaa ohuen kalvon aktiivihiilen huokosiin. Aktiivihiilisuodatuksen toimiminen vaatii, että kaasussa on pieni määrä happea. Reaktiota voidaan nopeuttaa muuttamalla rikkivety alkuainerikiksi, joka kiinnittyy aktiivihiileen nopeammin. Tämä tapahtuu kyllästämällä aktiivihiili katalyyttinä toimivalla aineella kuten kaliumjodidilla, kaliumkarbonaatilla tai sinkkioksidilla. /36, 7/.

Kaliumjodidia voidaan kuitenkin käyttää vain, jos ympäristössä on myös vettä ja happea. Kaliumjodidi katalysoi reaktiota, jossa rikkivety reagoi hapen kanssa muodostaen alkuainerikkiä ja vettä. Reaktio tapahtuu 50–70 °C lämpötilassa ja 7–8 baarin paineessa. Kaliumjodidi estää myös rikkihapon muodostumista. Kaliumkarbonaattia käytettäessä reaktiot taas vaativat toteutuakseen vesihöyryä ja happea. Lämpötilan on myös oltava yli 50 °C. Kaliumkarbonaattia käytettäessä rikkivedyn hajoamisreaktioon osallistuvat rikkivety, happi ja kaliumkarbonaatti, ja lopputuotteina syntyy hiilidioksidia, vettä ja kaliumsulfaattia. Kaikissa aktiivihiilisuodatuksen menetelmissä rikkiyhdisteet jäävät aktiivihiileen, joten hiili täytyy ajoittain vaihtaa tai regeneroida lämmittämällä se 450 °C:een. Hiileen jää regeneroimisesta huolimatta kuitenkin aina jonkin verran rikkiä. /15, 449–450/.

5.3 Biologinen rikinpoisto

Biologisessa rikinpoistossa pieni määrä ilmaa ruiskutetaan reaktoriin. Rikkivety reagoi hapen kanssa ja muodostaa alkuainerikkiä. Alkuainerikki poistuu reaktorista mädätysjäämän mukana. Reaktiota katalysoi Thiobacillus-bakteeri, joka kuuluu luonnostaan bioreaktorin bakteerikantaan. Bakteerikannan kasvua varten voidaan myös tehdä mekaaninen rakenne reaktorin yläpäähän. /1, 336–337/.

Tämän käsittelytavan haaste on se, että liiallinen hapen määrä vaikuttaa hajotusprosessiin negatiivisesti. Lisäksi täytyy varoa muodostamasta räjähdysvaarallisia metaanin ja hapen seoksia. Ongelmaa saattaa aiheuttaa myös se, että mikäli reaktoriin ruiskutetaan ilmaa puhtaan hapen sijasta, jää hapen reagoinnin jälkeen biokaasuun ilman sisältämää typpeä, jonka poistaminen vaatii jälleen omat toimenpiteensä. Kuvio 7 havainnollistaa miten biokaasuun lisätty ilma vaikuttaa rikkivedyn muodostumiseen. Kuvion perusteella voidaan todeta, että sopiva ilmamäärä on noin 4 tilavuusprosenttia. /1, 336–337/.



Kuvio 7. Rikkivedyn pitoisuus suhteessa lisätyn ilman määrään. /15, 444/.

5.4 NaOH-pesuri

Rikkivedyn poisto voidaan toteuttaa myös pesuritekniikalla. Yleisin ja samalla yksi vanhimmista pesuritekniikoista on natriumhydroksidipesu. Tällöin pesuri käyttää NaOH-liuosta, jonka natriumhydroksidi reagoi kaasun rikkivedyn kanssa muodostaen natriumsulfidia ja natriumvetysulfidia, jotka molemmat ovat liukenemattomia suoloja. Pesuliuoksen regenerointi ei ole mahdollista. Näin ollen NaOH-pesun hait-

tapuoli on siinä muodostuva syövyttävä lopputuote. Nykyisin NaOH-pesua ei juurikaan käytetä rikkivedyn poistoon, jollei käsiteltävänä ole erityisen suurta määrää kaasua tai jollei rikkivedyn pitoisuus ole erityisen suuri. /36, 7; 39, 23/.

5.5 Vesipesuri

Rikkivedyn poisto on mahdollista myös hiilidioksidin poistamisen yhteydessä absorptiolla, jolloin käytettävä sovellus on vesipesuri. Vesipesurissa biokaasu johdetaan 10–12 baarin paineessa vesisäiliöön (5–25 °C) alakautta. Happamat yhdisteet kuten hiilidioksidi ja rikkivety liukenevat veteen helpommin kuin hiilivedyt kuten metaani. Liukenemisen eroja selittävät erilaiset van der Waalin voimat ja erilaiset kovalenttiset sidosvoimat. Pesurissa suuri osa hiilidioksidista ja rikkivedystä liukenee veteen, kun taas metaani kuplii vesipatsaan läpi säiliön yläosaan. /15, 455–456/.

Jäljelle jäävän kaasun metaanipitoisuus on tyypillisesti 95 % ja se voidaan ottaa talteen säiliön yläosasta. Jopa tätä suurempaan metaanipitoisuuteen voidaan päästä, jos pesuriin kytketään jatkuva veden kierrätys ja regenerointi. Tyypillisessä pesurissa vesi regeneroidaan väliajoin. Pesurin toimintaa voidaan tehostaa myös painetta nostamalla, veden lämpötilaa laskemalla tai erilaisia vesiliuoksia käyttämällä. /15, 456/.

Pesurin regeneroiminen tapahtuu johtamalla hiilidioksidi- ja rikkivetytoinen vesi toiseen vesisäiliöön, joka ei ole ylipaineessa. Liuenneet kaasut pääsevät normaali-paineessa taas haihtumaan vedestä. Kaasujen haihtumista voidaan edelleen nopeuttaa nostamalla veden lämpötilaa haihdutussäiliössä tai tuottamalla säiliöön alipainetta. Vapautuva hiilidioksidi voidaan kerätä talteen ja käyttää erilaisissa käyttökohteissa kuten kasvihuoneiden hiilidioksidilisänä. /15, 456/.

5.6 Muita keinoja

Muita keinoja rikkivedyn poistoon ovat esimerkiksi natriumalgilaatin käyttö tai kaasun suodattaminen molekyyliseuloilla tai tensidivaahdolla. Merilevästä tuotettavalla natriumalginaatilla on todettu olevan rikkivedyn muodostumista hillitsevä

vaikutus. Kun natriumalginaattia lisätään syötteeseen noin 10 g syötteen tilavuuskuutiometriä kohti, muuttuvat biologiset prosessit siten, että biokaasun tuotto kasvaa, ammoniakin tuotto pienenee ja rikkivedyn pitoisuus laskee jopa alle 20 mg/m^3 . Molekyyliseuloilla taas kaasu voidaan saada puhdistettua täysin epäpuhtauksista, eli seuloihin jää vain metaania. Ongelmana kuitenkin on, että myös metaanista noin 10 % pääsee seulojen läpi. Pieniä kaasumääriä voidaan puhdistaa myös johtamalla se tensidivaahdon läpi, mutta tämä menetelmä on suurille kaasumäärille haaste, sillä vaahdon kaasunläpäisevyys kärsii suurista kaasumääristä. /15, 450–451/.

6 BR2:N PROSESSI

MBT-laitoksen toiminta koostuu karkeasti jaettuna kahdesta osasta: mekaanisesta esikäsittelystä ja biologisesta käsittelystä. Mekaanisessa esikäsittelyssä poistetaan biologiseen käsittelyyn soveltumaton jäte, joka käsitellään muulla tavoin. Biologisessa käsittelyssä tapahtuu varsinainen biokaasun muodostuminen. Biologisen käsittelyn jälkeen kaasu etenee energiakäyttöön. /13/.

Stormossenin BR2:n mekaaniseen esikäsittelylinjaan tehtiin muutoksia helmi-maaliskuussa 2015. Muutokset esitellään pääpiirteittäin luvuissa 6.1 ja 6.2. Liitteessä 1 on valokuvia biokaasulaitoksesta ja sen komponenteista.

6.1 Prosessi ennen muutoksia

Ennen muutosten toteuttamista prosessi eteni pääpiirteittäin seuraavasti. Erilliskerätty biojäte ja muiden jätehuoltoyritysten alueilta tuleva märkäjäte eteni mekaaniseen esikäsittelyyn, jossa eroteltiin biologisesti hajoava jäte, poltettava jäte, metalli ja loppusijoitettava karkeajäte. Biologisesti hajoava jäte käsiteltiin anaerobisesti mädättämällä, ja lopputuotteina saatiin biokaasua, mädätysjäämää ja vettä. Poltettava jäte toimitettiin poltettavaksi, metalli hyödynnettäväksi ja loppusijoitettava jäte loppusijoitettiin kaatopaikalle. /40, 3–4/.

Mekaaninen käsittely alkoi suurten kappaleiden poistolla jättemateriaalin seastanostokouraa käyttäen, minkä jälkeen jäte eteni esimurskauksen kautta pyörivään rumpuseulaan, joka erotteli biohajoavan jätteen erilleen. Metallin ja hyötykäyttöön kelpaamaton jäte eroteltiin edelleen jäljelle jääneestä materiaalista. Loppujättemateriaali luokiteltiin poltettavaksi jätteeksi. Biohajoava jäte eteni hihnakuuljettimella mikseriin, jossa siihen sekoitettiin kuumaa vettä siten, että lämpötila nousi termofiilisen prosessin edellyttämälle tasolle 60 °C:een. Mikseriin mahtuu noin 150 tonnia syötemassaa, mikä vastaa noin kahden päivän syöttötarvetta normaalilla kapasiteetilla. /40, 6–7; 41/.

Tämän jälkeen massa siirrettiin ruuvipuristimella bioreaktoriin. Ruuvipuristimessa tapahtui myös muovin erotusta. Massan viipymä reaktorissa oli noin 2–3 viikkoa ja

lämpötila pidettiin noin 55 °C:ssa. Mädetetty massa poistettiin reaktorin alaosan kautta sitä mukaa kun uutta massaa lisättiin. /40, 6–7/.

BR2:n tilavuus on noin 1700 m³, josta lietteen täyttämänä on noin 1400–1500 m³. Reaktorin halkaisija on noin 10 metriä ja sen korkeus noin 30 metriä. Suurin osa reaktorista on kallioon louhitussa kuopassa. BR2:n prosessi on jatkuvatoiminen, eli jätettä on lisätty reaktoriin jatkuvasti. Kuitenkaan tässä tapauksessa jatkuvalla ei tarkoiteta jatkuvaa syöttämistä, vaan jätettä on lisätty reaktoriin muutaman kerran päivässä arkipäivisin. /41/.

Sekä BR1:ssä että BR2:ssa tuotettu biokaasu kerättiin talteen kaasuväaraan, josta sitä käytettiin sähkögeneraattoria käyttävän kaasumootorin, lämpökeskuksen ja höyrykattilan polttoaineiksi. Suuri osa tästä energiasta on käytetty Stormossenin omiin energiatarpeisiin, joskin sähköenergiaa on myös myyty. Lisäksi kaasua on myyty muutamien lähialueen yrityksen energiatarpeisiin sekä Botniahallin lämmitykseen. Stormossenin omissa toiminnoissa on polttoaineena käytetty myös vanhalta kaatopaikalta kerättyä kaatopaikkakaasua. Varajärjestelmänä ja kaasuylijäämän käsittelyratkaisuna on ollut kaasun polttaminen laitoksen soihdussa. /13/.

6.2 Prosessi tehostamistoimien jälkeen

Prosessin oleelliset muutokset tapahtuivat mekaanisessa esikäsittelyssä. Muutosten jälkeen biojättemassa saatiin pumpattavaan muotoon jo aikaisemmassa vaiheessa mm. pienemmän raekoon ja tehokkaamman muovijätteen erotuksen kautta. Myös prosessiveden lisääminen biomassaan tapahtuu muutosten jälkeen useammissa pisteissä kuin ennen muutoksia. Muutosten myötä muovijäte ei kuormita mikseriä samalla tavoin kuin ennen muutoksia. /13/.

Uudistettu laitos on esimurskaukseen asti samanlainen kuin vanha laitos. Esimurskattu materiaali etenee uudelle vasaramurskaimelle, jossa biojäte murskataan millimetrikokoluokkaan, mutta muovi ja muu palava jae jää isompaan palakokoon. Jäte syötetään pystysuoran akselin ympäri pyörivään rumpuun yläkautta keskelle rumppua. 1000 kierrosta minuutissa pyörivän rummun keskiosan terät leikkaavat jätteen

silpuksi, ja jäte siirtyy ulkokehälle, jossa olevia pystysuuntaisia tankoja vasten pehmeä biojäte murskaantuu, mutta poltettava jäte säilyy keskiosan terien leikkamassa palakoossa. Murskaimessa jätemassaan lisätään myös vettä. /13/.

Murskaimesta jätemassa siirtyy suppiloon, johon lisätään myös vettä. Suppilosta massa siirretään ruuvipuristimella eteenpäin. Ruuvipuristin erottaa biojätteen ja muun jätteen. Muu jäte siirretään kuljettimella magneettierottajalle, joka erottelee poltettavan jätteen ja metallin. Biojäte pumpataan putkessa tästä eteenpäin mikseriin, jossa massaan lisätään tarvittaessa lisää vettä. Mikseristä syöte lasketaan omalla paineellaan BR2:een. Aiemmin tässä kohdassa käytettyä ruuvipuristinta ei enää tarvita, sillä syötteen ei uuden esikäsittelyn ansiosta pitäisi sisältää juurikaan biologiseen käsittelyyn soveltumatonta muovi- ja paperijätettä. Itse biologinen käsittely on muutosten jälkeen samanlainen kuin aiemmin. /13/.

6.3 Rikkivetypitoisuuden hallinta

Rikkivedyn hallintaan käytetään muutostoimenpiteiden jälkeenkin samaa keinoa kuin aiemmin. Tämä tarkoittaa rautahydroksidin käyttöä. Käytettävä rautahydroksidivalmiste on Schaumann bioenergin valmistama BC Atox Scon. Valmisteen käytölle ja annostelulle pyrittiin tässä työssä etsimään sopivan tehokas ratkaisu. Valmisteen annostelu on esitelty tarkemmin luvussa 7.6. /13/. Kuviossa 8 näkyy valmisteen ulkomuoto: punertavanruskeaa hienojakoista jauhetta.



Kuvio 8. BC Atox Scon -rautahydroksidivalmistetta.

7 TULOSTEN ESITTELY

Opinnäytetyössä tutkittiin BR2:n tuotantoa kahdella tavalla: automaatiojärjestelmän raporttiohjelman arkistotietojen perusteella sekä tekemällä mittauksia itse. Mittauksia tehtiin aikavälillä 23.3.–29.4.2015 kaikkiaan 244 kappaletta. Luvuissa 7.2. ja 7.3 esitellään raporttiohjelman tietojen perusteella tehdyt analyysit ja luvuissa 7.4–7.6 omiin mittauksiin perustuvat analyysit.

7.1 Kooste aiemmista biokaasun koostumusmittauksista

Tässä luvussa esitetään yhteenveto Stormossenin aiemmista biokaasun koostumusmittauksista. Mittaukset on tehnyt ulkopuolinen konsultti. Kaasuanalyysin tuloksia oli yhteensä seitsemän vuosilta 2008–2014, joista tuoreimmat kolme olivat vuodelta 2014. Kaasuanalyysien tulokset on koottu taulukkoon 2. Näissä analyyseissä koostumus oli vaihdellut melko paljon. Metaanin pitoisuus oli vaihdellut välillä 56–65 % ja hiilidioksidin osuus välillä 38–40 %. Rikkivedyn osuus oli ollut 148–1190 ppm. Siloksaanien pitoisuus oli vaihdellut jopa välillä 0,6–14,0 mg/m³.

Taulukko 2. Biokaasun koostusanalyysijä v. 2008–2014.

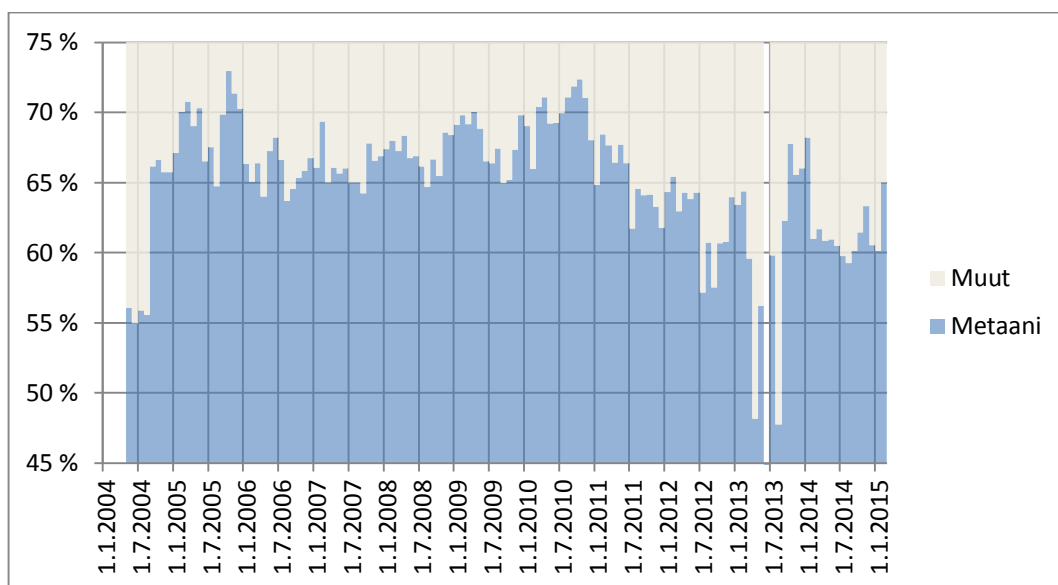
		5.3.2008	9.4.2008	13.1.2009	15.3.2013	4.3.2014	4.4.2014	25.9.2014
Metaani	%	56	65	61	60	59	60	61
Hiilidioksidi	%	40	38	39	39	40	39	38
Happi	%	1			0	0	0	1
Typpi	%	2	1	1	1	1	1	1
Ammoniakki	ppm	2,0	2,0		0,0	0,1	0,1	0,1
Rikkivety	ppm	1190	500	1106	959	207	381	795
Siloksaanit	mg/m ³	0,6	0,6	2,2	10,3	14,0	10,7	4,6
Si yht	mg/m ³	0,2	0,2	0,8	3,9	5,3	4,0	1,7

7.2 Kaasutuotannon analysointia v. 2004–2014

Biokaasulaitoksen automaatiojärjestelmän raportointityökalun avulla tämän työn tueksi saatiin laitoksen tuotantoa kuvaavia lukemia vuosilta 2004–2015. Näistä lukemista tehtiin taulukoita ja graafisia kuvaajia kuvaamaan eri tekijöiden suhteita kaasutuotannossa.

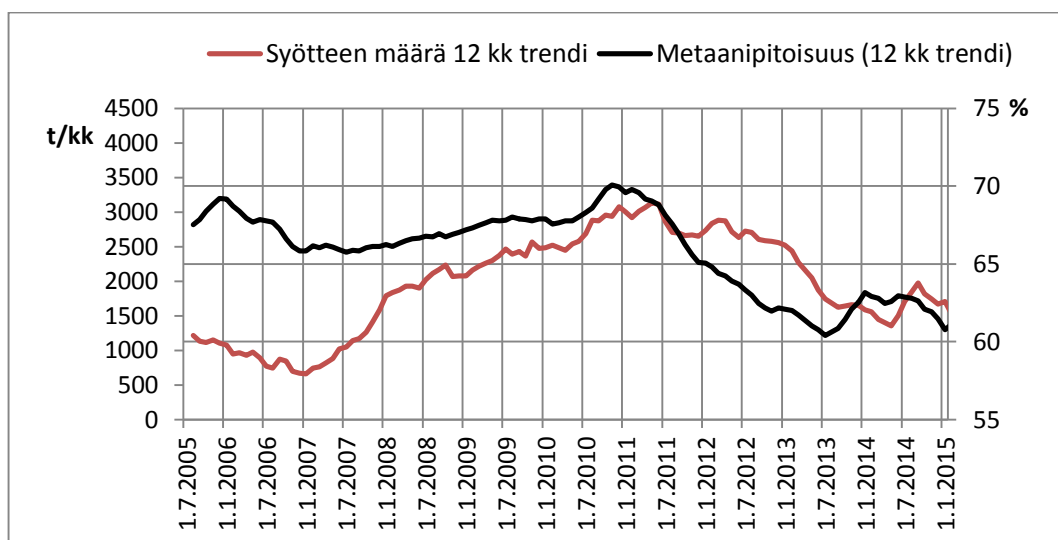
7.2.1 Kaasun metaanipitoisuus 2004–2014

Ensimmäinen analysointikohde oli kaasun metaanipitoisuuden vaihtelu. Lähtötiedoiksi koottiin kuukausikohtaisesti tiedot syötteen määrästä, tuotetusta kaasusta ja kaasun metaanipitoisuudesta. Metaanipitoisuus oli vaihdellut välillä 56–73 %. Laitoksen syöttötietoja ja kaasun metaanipitoisuutta verrattaessa huomattiin, että alle 60 % pitoisuudet olivat erikoistilanteista, jolloin reaktoriin ei ollut syötetty syötettä. Näin ollen varsinainen vaihteluväli oli noin 60–73 %. Lisäksi erottuu, että vuosien 2010 ja 2011 vaihteessa kaasun metaanipitoisuus on alkanut selvästi pudota. Vuosina 2004–2010 metaanipitoisuuden keskiarvo on ollut 68 %. Pitoisuuden alaraja on ollut noin 64 %. Vuosina 2011–2014 keskiarvo on ollut vain 63 % ja pitoisuuden alaraja noin 60 %. Näihin tuloksiin aiheuttaa valitettavasti jonkin verran epävarmuutta se seikka, että käytössä olevia kiinteitä mittareita on vuosien varrella vaihdettu jonkin verran uusiin, eikä vanhan ja uuden mittarin välisiä mittauseroja ole kirjattu ylös. Metaanipitoisuuden vaihtelu on esitetty graafisesti kuviossa 9.



Kuvio 9. BR2:lla tuotetun kaasun metaanipitoisuuden vaihtelu v. 2004–2015.

Lisäksi tutkittiin millaisessa suhteessa metaanipitoisuus on syötteen määrään nähden. Syötteen määrä ja kaasun metaanipitoisuus on esitetty 12 kk liukuvina keskiarvoina kuviossa 10. Tulokinnan perusteella kaasun metaanipitoisuus on ollut parempi silloin, kun laitosta on käytetty suuremmalla kuormalla. Kuormitus on alkanut kääntyä laskuun vuonna 2011 eli samaan aikaan kun kaasun metaanipitoisuuskin on alkanut laskea. Näin ollen voidaan olettaa, että suuremmalla kuormituksella saadaan parempilaatuista biokaasua. Kuormitusta ei voi nostaa kuitenkaan loputtomiin, vaan paras tulos saadaan optimikuormituksella. Kuviossa 10 syötteen määrä käy korkeimmillaan yli 3000 tonnissa kuukautta kohti. Saarelan opinnäytetyössä ehdotetaan tavoiteltavaksi syötekuormitukseksi 87 m^3 päivässä /14, 80/, mikä vastaa noin 2600 m^3 kuukaudessa, mikä vastaa noin 3100 tonnia syötemassaa kuukautta kohti.



Kuvio 10. Syötteen määrän ja kaasun metaanipitoisuuden trendikäyrät v. 2004–2014.

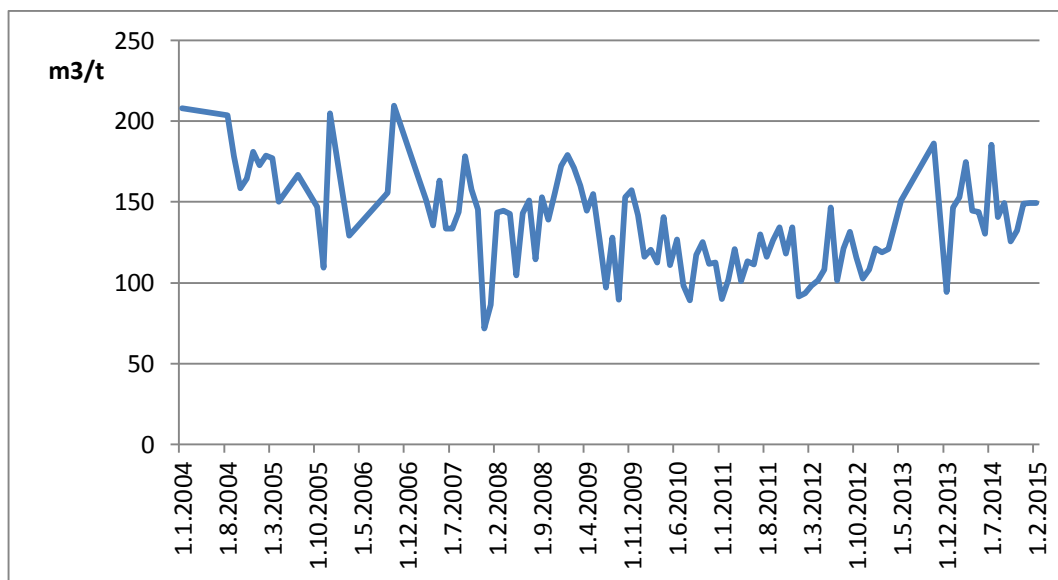
7.2.2 Syötetyn jätteen ja tuotetun kaasun suhde 2004–2014

Syötetyn jätteen ja tuotetun kaasun välisen suhteen tutkimista varten kerättiin kuukausikohtaisesti tiedot syötteen määrästä, syötteen sisältämän veden määrästä, syötteen sisältämän jätteen määrästä ja tuotetun kaasun määrästä. Syötetyllä jätemäärällä tarkoitetaan tässä mikseriin syötetyn jätteen määrää, eli mekaanisen esikäsittelyn jälkeistä biojätteen määrää. Tiedoista laskettiin tuotetun kaasun ja syötetyn jätemäärän suhde sekä tuotetun kaasun ja syötetyn syöteseoksen suhde. Lisäksi laskettiin laskennallinen biojätteen osuus syöteseoksesta. Tämä luku on laskennallinen, sillä jätteestä puhuttaessa käytetään pääasiassa yksikkönä tonnia, mutta koska syötteen määrä ja syötteen sisältämän veden osuus on esitetty kuutioina, on tämä laskennallinen biojätteen määrä myös laskettu kuutioiksi.

Epävarmuutta näille luvuille aiheuttaa esimerkiksi se, että mikseriin syötetty jätemäärä ei suoraan kerro reaktoriin syötetyn jätteen määrää. Mikserissä jätemassaan sekoitetaan vettä, ja tuota seosta syötetään reaktoriin. Mikseriinkin kuitenkin saatetaan jättää jonkin verran syötettä, joten täsmällistä syötetyn jätemassan määrää on vaikea määrittää edes kuukausitasolla. Toinen epävarmuustekijä on se, että syöttestä muodostuu kaasua noin 2–3 viikon ajan, joten jos kuukauden loppupuolella

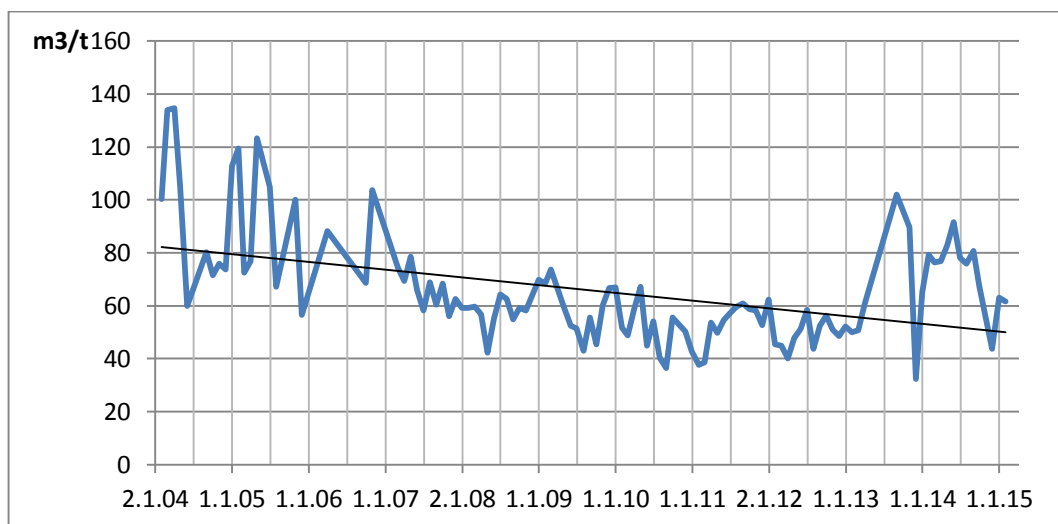
on syötetty reaktoriin suuri määrä syötettä verrattuna aiempaan syöttöön kuukauden aikana, näkyy tuo kaasuntuotto vasta seuraavan kuukauden luvuissa. Tästä syystä lasketuille luvuille jouduttiin tekemään jonkin verran karsintaa. Karsinta tehtiin sillä perusteella, että selvästi liian suurina tai liian pieninä erottuvat piikit jätettiin aineistosta pois.

Tuotetun kaasun ja syötetyn jätteen suhde vaihteli välillä $0\text{--}3938\text{ m}^3/\text{t}$. Järjettöminä näistä karsittiin pois täysin muusta jakaumasta erillään olevat luvut, jolloin vaihteluväliksi tuli $72\text{--}210\text{ m}^3/\text{t}$. Tämän tulosjoukon keskiarvoksi saatiin $137\text{ m}^3/\text{t}$ ja keskihajonnaksi 29. Myös joukon mediaani on $137\text{ m}^3/\text{t}$. Kuvio 11 kuvaa graafisesti kaasun tuottoa vuosina 2004–2015. Kuviosta voidaan havaita, että normaali vaihteluväli on noin $100\text{--}180\text{ m}^3/\text{t}$. Tuotto näyttää laskeneen hitaasti mutta tasaisesti vuoteen 2011 saakka, minkä jälkeen tuotto on lähtenyt nousuun. Tulos vastaa melko hyvin luvun 2.2. taulukossa 1 esitettyä teoreettista arvoa.



Kuvio 11. Biokaasun tuottokuvaaja.

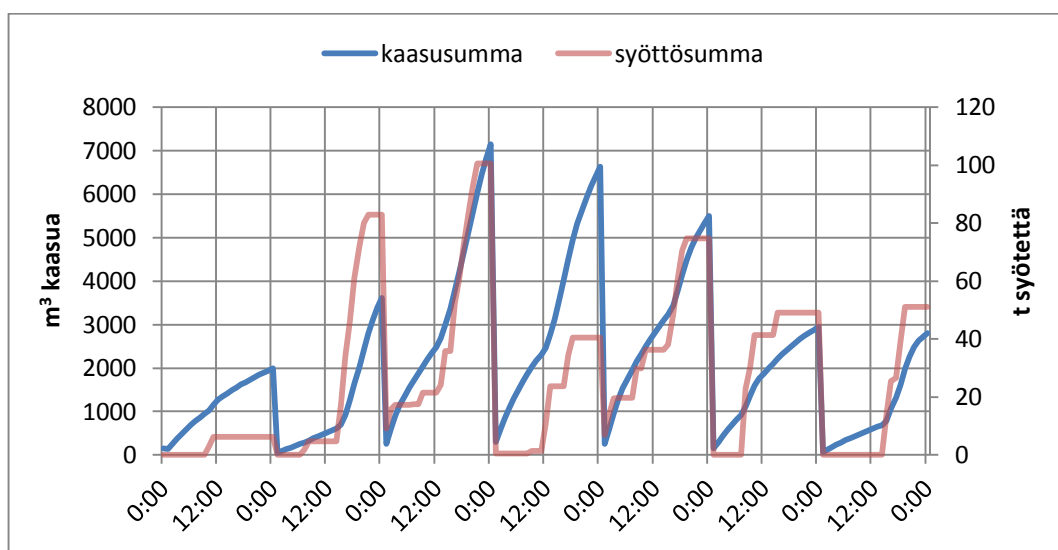
Vastaava tuoton ja syötön suhde laskettiin myös reaktoriin syötetylle syötteelle ja tuotetulle kaasulle, sillä muutosten jälkeisestä laitoksesta ei ainakaan toistaiseksi saada suoraan tietoa siitä miten paljon mekaanisesta esikäsittelystä tulee biojätettä mikseriin. Tämä johtuu siitä, että biojätteeseen lisätään jo esikäsittelyssä vettä. Kuitenkin tämän arvon perusteella pystytään paremmin vertaamaan muuttuiko syötön ja tuoton suhde esikäsittelyn remontin yhteydessä. Linearisena keskiarvona määritettynä tuoton ja syötön suhde on juuri ennen remonttia ollut noin $50 \text{ m}^3/\text{t}$. Parhaimmillaan se on vuosina 2004 ja 2005 ollut tasolla $80 \text{ m}^3/\text{t}$. Tuotetun kaasun suhde syötettyyn syötteeseen on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Tuotetun kaasun ja syötetyn syötteen suhde v. 2004–2014.

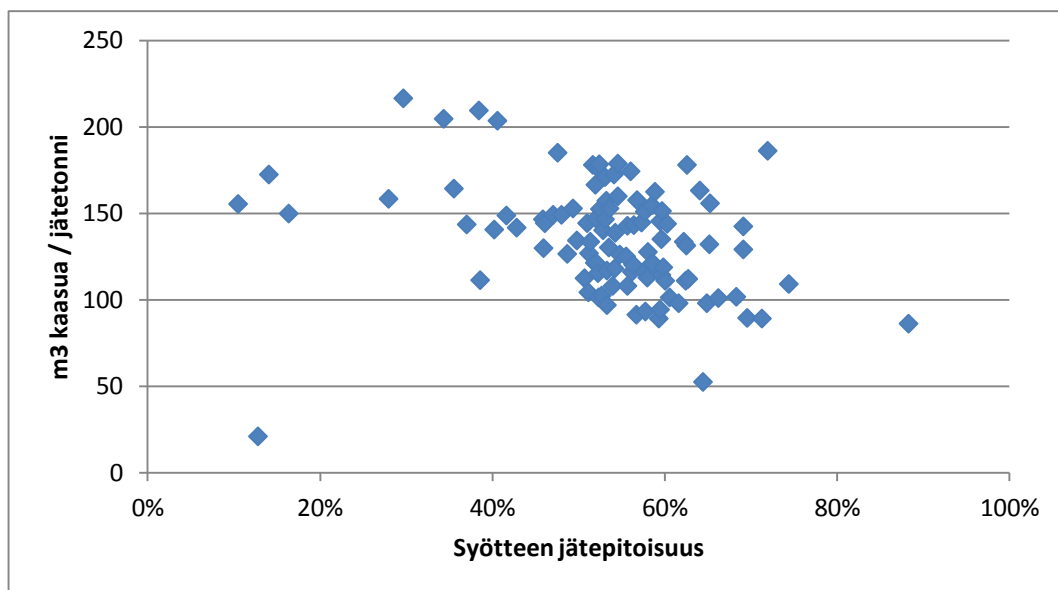
Kaasun tuottoa arvioitiin lisäksi tutkimalla yksittäisen viikon tietoja reaktoriin syötetyn syötteen ja tuotetun kaasun määristä. Viikoksi valittiin sattumanvaraisesti 1.–7.6.2014. Tutkittu viikko alkaa sunnuntaista ja päättyy lauantaihin. Kaasun tuotto vaihteli välillä $44\text{--}319 \text{ m}^3/\text{t}$. Koko viikon keskiarvo on $161 \text{ m}^3/\text{t}$. Suurin lukema on sunnuntailta, jolloin reaktoriin on syötetty melko vähän jätettä, mikä osaltaan selittää suurta lukemaa. Toisaalta myös sunnuntaina tuotetun kaasun määrä on pieni, kuten viikonloppuisin on Stormossenilla muutenkin ollut. Pienin lukema sen sijaan

on maanantailta, jolloin jätettä on taas syötetty reaktoriin lähes normaali määrä. Normaalista syötöstä huolimatta tuotto on melko pieni. Tähän vaikuttaa erityisesti se, että reaktorin syöttö on viikonlopun ja maanantain aikana usein ollut vähäisempää kuin muina viikonpäivinä /41/. Syöttöseoksen ja tuotetun kaasun päivittäiset summakuvaajat tuon viikon ajalta on esitetty kuviossa 13.



Kuvio 13. Päivittäiset kaasusummat ja syöttösummat 1.-7.6.2014.

Syötteen jätepitoisuuden merkitystä kaasuntuotolle arvioitiin graafisesti kuvion 14 avulla. Tätä varten muutettiin jätemäärä tonneina muotoon jätemäärä kuutiometreinä. Tuota jätemäärää on verrattu syötteen kokonaismäärään kuutiometreinä. Kuvasta voidaan todeta, että syötteen jätepitoisuus ei vaikuta kovin herkästi kaasuntuottoon. Kun syötteen jätepitoisuus on välillä 40–70 %, on kaasuntuotto noin 100–180 m³/t. Tässä yksikkönä on mikseriin tullut jätetonna, kun taas suurimmassa osassa muita tutkimuksia käytetään syötetonna. Tässä kuitenkin on oleellista puhua juuri mikseriin tulleesta jätetonnista. Jos tässä käytettäisiin yksikkönä syötetonna, ajatus vääristyisi hiukan, sillä tällöin syötteen jätepitoisuus vaikuttaisi y-akselin arvoihin kahdella tavalla.



Kuvio 14. Kaasuntuoton ja syötteen jättepitoisuuden välinen suhde.

Tuotetun kaasun ja reaktoriin syötetyn syötteen suhdetta tutkittiin vuosilta 2007–2015, sillä tätä vanhemmissa tiedoissa vaihtelu oli niin suurta, ettei tietoa voinut pitää luotettavana. Tuotto vaihteli tällä ajalla välillä $0\text{--}249\text{ m}^3/\text{m}^3$. Näistä tuloksista karsittiin myös järjettömät luvut, jolloin vaihteluväliksi saatiin $42\text{--}200\text{ m}^3/\text{m}^3$. Vaihteluvälin keskiarvo on $64\text{ m}^3/\text{m}^3$, keskihajonta 25 ja mediaani $59\text{ m}^3/\text{m}^3$.

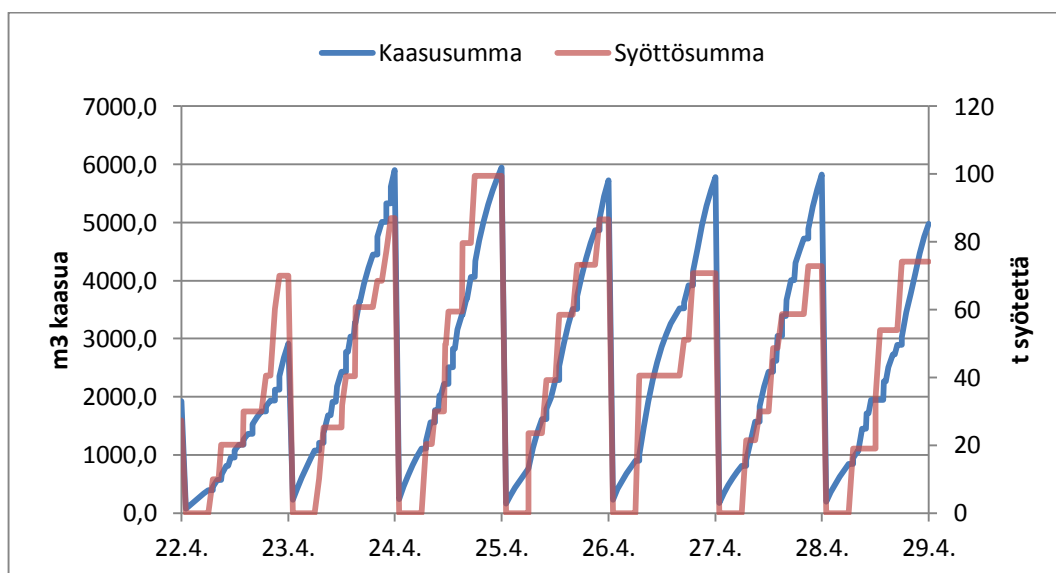
7.3 Syötemäärän ja tuotetun kaasun suhde 23.3.–28.4.2015

Taulukkoon 3 on kirjattu viikoittaiset BR2:n tuotot ja syötöt tutkimuksen aikaväliltä 23.3.–28.4.2015. Tarkastelun pääasiallinen kohde on tuoton ja syötön suhde. Se on vaihdellut välillä $63,5\text{--}90,5\text{ m}^3/\text{t}$, mikä on melko hyvä tulos kuvion 12 yhteydessä esiteltyyn remonttia edeltäneeseen tilanteeseen nähden.

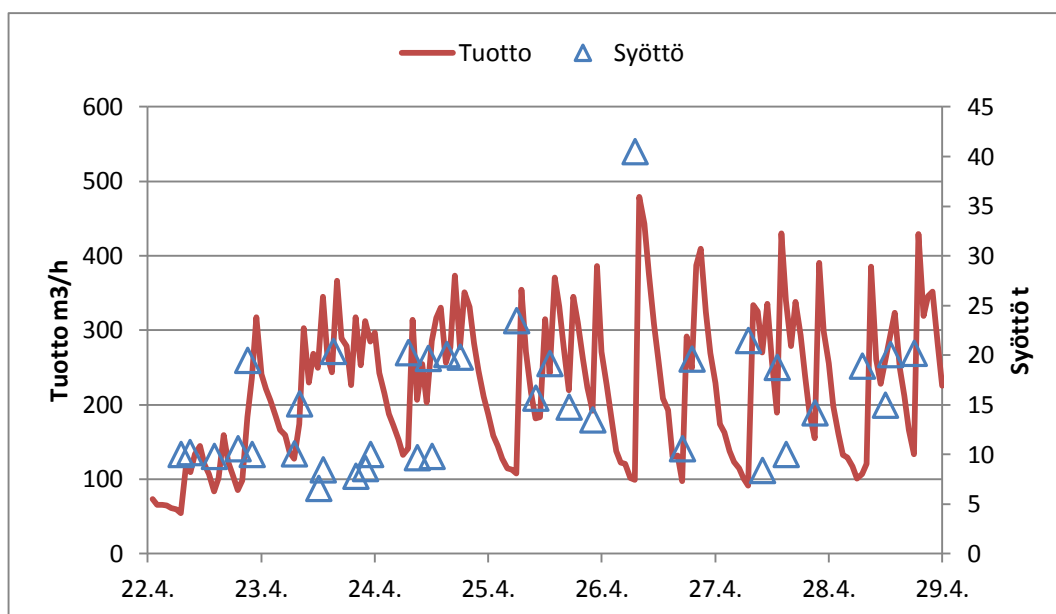
Taulukko 3. Viikoittaiset tuotot ja syötöt 23.3.-28.4.

	tuotto (m ³)	syöttö (t)	CH ₄ (%)	tuotto / syöttö	huomio
23.3.-29.3.	20905	308,6	62,1	67,7	käynnistys
30.3.-5.4.	20984	231,9	61,6	90,5	pääsiäinen
6.4.-12.4.	18484	246,6	62,9	75,0	
13.4.-19.4.	10892	146,7	62,9	74,3	sähkökaapin asennus
20.4.-26.4.	29913	471,4	61,3	63,5	automaation päivitystä
27.4.-28.4.	10807	127,1	60,5	85,0	kaksi päivää

Kaasun tuottoa 23.3.–28.4.2015 arvioitiin lisäksi tutkimalla päivittäisiä tietoja reaktoriin syötetyn syötteen ja tuotetun kaasun määristä. Kaasun tuotto vaihteli välillä 28–144 m³/t. Koko tutkimusjaksolla tuotettiin kaasua 111 985 m³ ja reaktoriin syötettiin syötettä 1532 t. Näin ollen koko tutkimusjakson tuoton keskiarvo on 73,1 m³/t. Kuviossa 15 on esitetty tutkimusjakson seitsemän viimeisen päivän syötöksen ja tuotetun kaasun päivittäiset summakuvaajat.

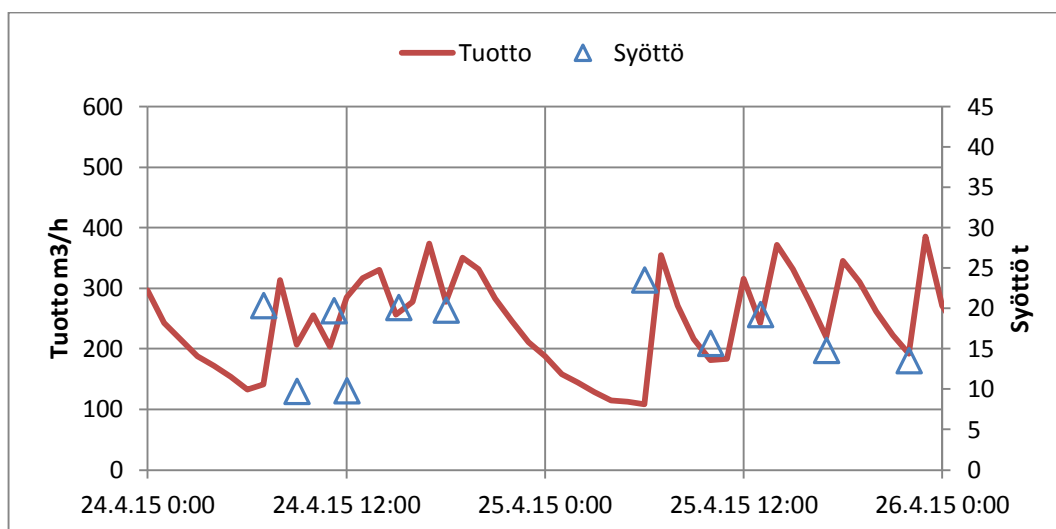
**Kuvio 15.** Päivittäiset kaasusummat ja syöttösummat 22.4.–28.4.

Kuviosta 16 nähdään, miten kaasun virtaus eli tunti-kohtainen kaasuntuotto on vaihdellut aikavälillä 22.4.–28.4. Kuvioon on merkitty myös syötön ajankohdat ja syötteen määrät. Kaasuntuotto on parhaimmillaan aina syötteen lisäämisen jälkeen. Esimerkiksi 26.4. on lisätty syötettä kerralla noin 40 tonnia, minkä jälkeen kaasuntuotto on noussut liki 400 kuutioon tunnissa.



Kuvio 16. Kaasun virtaus ja syötteen syöttöhetket ja -määrät 22.4.–28.4.

Kuviossa 17 on esitetty kaasun virtaus eli tunti-kohtainen kaasuntuotto kahdelta päivältä 24. ja 25.4. Tästä kuviosta nähdään vielä tarkemmin kuin kuviosta 16, miten kaasuntuotto nousee syötteen lisäämisen jälkeen yhdestä kahteen tuntia, mutta saavutettuaan huipun se myös laskee lähes yhtä nopeasti.



Kuvio 17. Kaasun virtaus ja syötteen syöttöhetket ja -määrät 24.4.–25.4.

7.4 Biokaasun koostumusmittaukset ja menetelmien kelpoisuus

Biokaasun koostumusmittaukset tehtiin Sewerin Multitec 540 -monikaasuanalyysaattorilla. Analysaattori kertoo kaasun metaani-, hiilidioksidi- ja happipitoisuudet prosentteina sekä rikkivedyn pitoisuuden yksikössä ppm. Metaanin ja hiilidioksidin määrittämisen laite tekee infrapunasensorilla, ja hapen ja rikkivedyn määrittämisen elektrokemiallisilla sensoreilla. Mittaustarkkuudet on esitetty taulukossa 4. /42/.

Taulukko 4. Sewerin Multitec 540:n mittaussvälit ja tarkkuudet

	Hiilidioksidi	Metaani	Happi	Rikkivety
Mittaussväli	0-100 %	0-100 %	0-25 %	0-2000 ppm
Resoluutio	1 %	0,1 % til. (0-79,9 %) 1 % til. (80-100 %)	0,1 %	1 ppm (0-100 ppm) 2 ppm (100-998 ppm) 200 ppm (999-2000 ppm)
Virhe	+/- 1,5 %	+/- 1,5 %	+3 yks	+3 ppm

Laite on suunniteltu biologisissa prosesseissa muodostuvien kaasujen kuten biokaasun ja kaatopaikkakaasun analysointiin. Laite mittaa samanaikaisesti edellä mainittujen kaasujen pitoisuudet. Valmistaja suosittelee laitteen käyttäjiksi seuraavia ryhmiä ja tahoja: kaatopaikat, jäteveden puhdistamot ja biokaasulaitokset. /43, 2/.

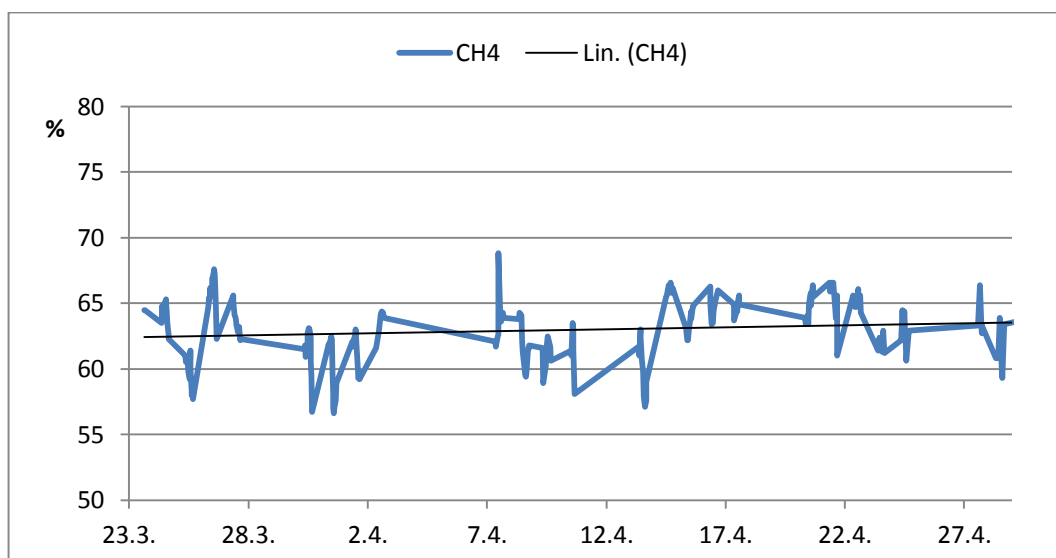
Laitteen käytön kannalta huomioitavaa on muistaa sensoreiden lämpenemisaika. Laite tulee käynnistää tilassa, jonka ilman koostumus vastaa mitattavien suureiden osalta normaalia ilmakehän koostumusta. Tämä tarkoittaa 20,9 % happipitoisuutta, 0,04 % hiilidioksidipitoisuutta, 0 % metaanipitoisuutta ja 0 ppm rikkivetypitoisuutta. Mikäli mittari näyttää tällöin lämpenemisajan jälkeen pitoisuutta jollekin muulle kaasulle kuin hapelle, tulee se nollata manuaalisesti Zero point -komennolla. Mittauksia voi alkaa tehdä, kun nämä toimet on suoritettu. /43, 11/.

7.5 Kaasun koostumusmittausten tulokset

Omia mittauksia tehtiin aikavälillä 23.3.–29.4. yhteensä 244 kappaletta. Seurattavat kohteet olivat metaani-, hiilidioksidi-, happi- ja rikkivetypitoisuus. Lisäksi mittauksen yhteydessä otettiin prosessin ohjausjärjestelmästä ylös kiinteän mittarin antama kaasun virtausnopeus ja päivän metaanisumma mittaushetkellä. Mittaustulosten perusteella tutkittiin prosessin tasaisuutta. Mitattua metaanipitoisuutta myös verrattiin automaatiojärjestelmästä löytyvään kiinteän mittarin mittaamaan kaasun metaanipitoisuuteen.

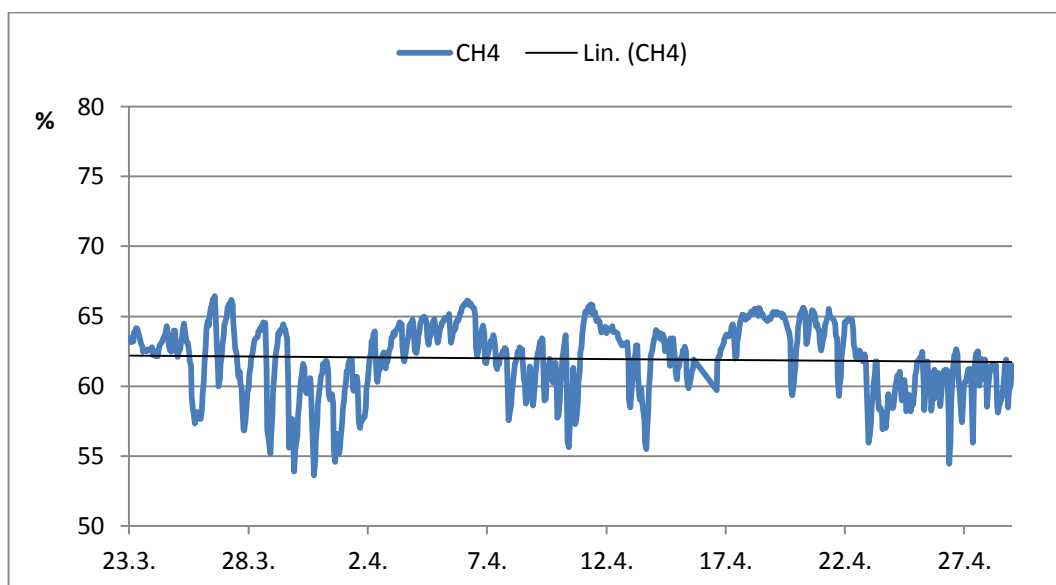
Mittausten aikana todettiin, että ainakaan tämän mittarin mittaustarkkuudella kaasun happipitoisuus on aina nolla. Tämä viittaa siihen, että reaktori on rakennettu tiiviiksi, eikä siihen myöskään ole tullut vuotoja ajan mittaan.

Kaasun metaanipitoisuus vaihteli välillä 56,6–68,8 %. Metaanipitoisuuden keskiarvo oli 62,9 %. Hiilidioksidipitoisuus vaihteli vastaavasti välillä 32–47 % ja sen keskiarvo oli 38,4 %. Metaanipitoisuuden vaihtelu on esitetty kuviossa 18. Kuvion perusteella voidaan todeta, että metaanipitoisuus on pikkuhiljaa noussut tarkastellulla aikavälillä. Tämä johtunee siitä, että mittausten alkupuolella BR2:sta käynnistettiin useiden viikkojen tauon jäljiltä, ja esimerkiksi lämpötila nousi normaalille yli 50 °C tasolle vasta mittausten loppupuolella.



Kuvio 18. Metaanipitoisuuden vaihtelu omien mittausten mukaan.

Automaatiojärjestelmän raporttiohjelman mukaan kaasun metaanipitoisuus on samalla aikavälillä vaihdellut välillä 54–66 %, ja metaanipitoisuuden keskiarvo on 62 %. Raporttiohjelman mukainen metaanipitoisuuden vaihtelu on esitetty kuviossa 19. Koko tarkasteluajan lineaarinen keskiarvo on noin 62 %, toisin sanoen aiemmin esitelty omiin mittauksiin perustuva metaanipitoisuuden keskiarvon nousu lienee tilastollista harhaa. Joka tapauksessa automaatiojärjestelmän antama ja itse mitattu metaanipitoisuus ovat melko lähellä toisiaan, joten tuloksia voidaan pitää melko luotettavina.



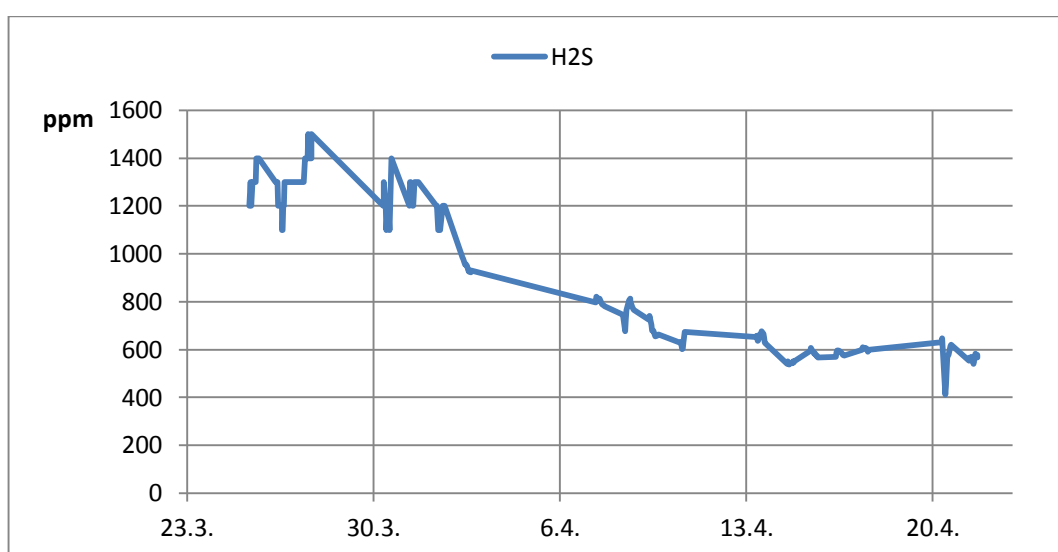
Kuvio 19. Metaanipitoisuuden vaihtelu raporttiohjelman mukaan.

7.6 Rikkivedyn pitoisuuden vaihtelu ja rautahydroksidin vaikutus

Tutkimuksen aloittamisvaiheessa ei ollut varmuutta siitä mitä BR2:lla rikkivedyn hallintaan käytettävä kemikaalivalmiste on. Tuotteen esitteissä mainittu ”special combination of active ingredients reduces high hydrogen sulphide levels and stabilises fermenter biology” /44/ ei kertonut liikaa tuotteen koostumuksesta. Valmistajan kotisivuilta löytyi kuitenkin sen verran tietoa, että saatiin selville, että tuotteen vaikuttava ainesosa on ionimuotoinen rauta. Myöhemmin valmistajalta saatiin tieto, että tuote on pääosin ferrihydroksidia. Valmisteen rauta(III)-pitoisuus on 35-40 % /45; 46/.

Ensimmäisen mittausviikon jälkeen 27.3. todettiin, että rikkivedyn pitoisuus on asettunut tasolle 1300–1500 ppm, mikä pääteltiin näin ollen olevan BR2:n normaali rikkivetypitoisuuden taso. Tämän jälkeen reaktoriin alettiin lisätä BC Atox Scon -rautahydroksidivalmistetta noin neljä säkkiä 150 syötetonna kohti. Yhdessä säkissä on 20 kg valmistetta, joten yhtä syötetonna kohti lisättiin noin 530 g valmistetta, mikä taas tarkoittaa noin 200 g rautaa. Tämän jälkeen kaasun rikkivetypitoisuus kääntyi hiljalleen laskuun päätyen noin kolmen viikon kuluttua suunnilleen

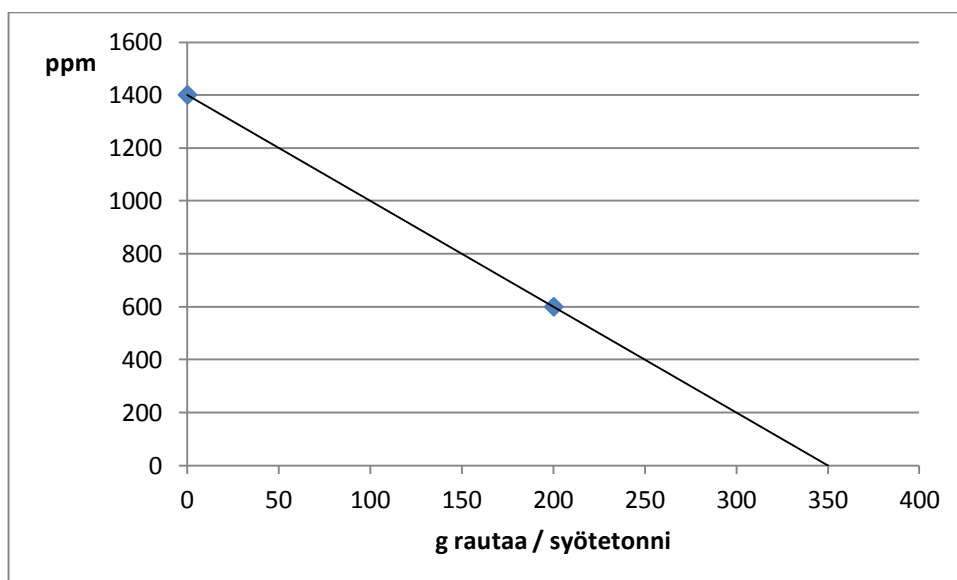
lukemaan 600 ppm. Rikkivetypitoisuuden laskeminen on esitetty kuviossa 20. Parempi arvo rikkivedyn pitoisuudelle olisi 300 ppm, joten annostusta on syytä vielä tarkistaa. Suurempaa annostusta alettiin kokeilla rikkivetypitoisuuden tasoittumisen jälkeen, mutta kokeilua ei saatu suoritettua loppuun sekä ajan että rautahydroksidivalmisteen loppuessa kesken. Mittausten yhteydessä todettiin, että BR2:n tuotekaasun rikkivetypitoisuus ei vaihtelee samaan tapaan kuin esimerkissä kuviossa 6 sivulla 27 esiteltiin.



Kuvio 20. Rikkivetypitoisuuden lasku ja tasoittuminen BR2:n tuotekaasussa.

Kuviossa 21 pisteillä on merkitty rikkivetypitoisuudet eri raudan lisäyksillä. Kun rautaa ei lisätty, rikkivetypitoisuus oli noin 1400 ppm. Kun rautaa lisättiin 200 g syötetonna kohti, rikkivetypitoisuus oli noin 600 ppm. Tavoitepitoisuuteen 300 ppm tarvittavaa raudan lisäystä voidaan arvioida karkeasti näiden pisteiden kautta piirretyn suoran avulla. Näin arvioiden sopiva raudan lisäys olisi noin 275 g rautaa syötetonna kohti. Tämä taas tarkoittaa noin 700 g BC Atox Scon –valmistetta syötetonna kohti, mikä tarkoittaa 5,25 kpl 20 kg säkkejä 150 syötetonna kohti. Rikkivedyn nollapitoisuuteen voisi tämän tarkastelun perusteella päästä annostelemalla ionimuotoista rautaa 350 g syötetonna kohti. Kirjallisuuden mukaan

nollapitoisuutta ei käytännössä saavuteta rautaionien lisäyksellä reaktoriin. Tarkempi tulos olisi saavutettu, jos rautahydroksidille olisi ehditty kokeilla useampaa kuin yhtä annostelua.



Kuvio 21. Rikkivetypitoisuus eri rautahydroksidin annostuksilla.

BR2:n mekaaniset sekoittajat olivat vikailmoituksen vuoksi hetken pysähdyksissä 20.4. Tällöin huomattiin, että tuotekaasun rikkivetypitoisuus kääntyi laskuun siksi aikaa, kun sekoittajat olivat pysähdyksissä. Kun sekoittamista jatkettiin, nousi rikkivetypitoisuus taas normaalille tasolle. Koska sekoittamisella kuitenkin todennäköisesti on vaikutusta prosessin toimintaan muutenkin, ei sekoittamisen lopettamista voine pitää järkevänä ratkaisuna rikkivetypitoisuuden hallintaan.

Saksalaisen tutkimusprojektin ”Fermentation of greencrop without manure coferment” yhteydessä tehdyssä tutkimuksessa on saavutettu samankaltainen tulos rautahydroksidin käytöllä suoraan termofiilisessä bioreaktorissa. Tutkimuksessa todettiin, että rauta(III)hydroksidi toimii rikkivetypitoisuuden hallinnassa yhtä hyvin kuin rauta(II)- ja rauta(III)-kloridit, kun tehdyissä kokeissa lisättiin prosessiin aina stoikiometrisesti sama määrä rautaa. /47/.

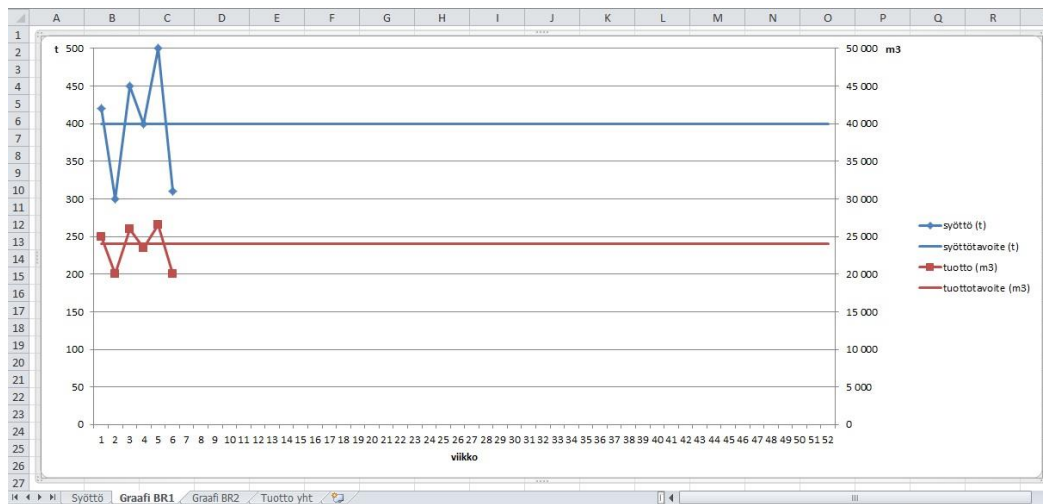
7.7 Tulosten luotettavuuden arviointia

Verraten lyhyessä noin viiden viikon mittaiseksi jääneessä seuranta-ajassa tuotanto ehti vaihdella erityisen paljon. Vaihtelua aiheutti erityisesti uuden esikäsittelylaitoksen käyttöönotto, mutta jonkin verran myös se, että BR2:ta ajettiin käsisyötöllä. Tulokset ovat uskoakseni luotettavia, sillä laite oli mittauksiin soveltuva, ja sitä käytettiin käyttöohjeen mukaan. Saadut tulokset olivat myös hyvin linjassa automaatiojärjestelmän raporttiohjelmasta saatujen vertailuarvojen kanssa. Sen sijaan ohjausjärjestelmän näyttämät metaanipitoisuuden arvot olivat lähes aina hieman erilaiset kuin mitatut arvot. Tämä kuitenkin johtunee tekniikasta, jolla tieto siirretään kiinteiltä mittareilta ohjausjärjestelmän käyttöliittymään.

Mittausteknisiä virheitä enemmän tulosten luotettavuuteen vaikuttaa epänormaali käyttötilanne biokaasulaitoksella. Siitä taas seuraa epätasainen kaasuntuotto. Mittaukset aloitettiin esikäsittelylaitoksen käyttöönottovaiheessa, jolloin laitoksen toiminta ei ollut täysin normaalia. Täysin normaaliksi toiminta ei edes ehtinyt muuttua mittausten aikana, sillä esikäsittelylaitoksen automaatiojärjestelmää päivitettiin vielä viimeisellä mittausviikolla, eikä BR2:n syöttö ollut normaalilla tasolla. Myös BR2:n lämpötila oli lähes koko tutkimusajan hieman liian matala, sillä lämpötila nousi vasta huhtikuun loppupuolella yli 50 °C:een. Tulokset kuitenkin antavat hyvin suuntaa siitä millä välillä kaasun metaanipitoisuus vaihtelee. Lisäksi kaasun normaalin rikkivetypitoisuuden määrittystulos on uskoakseni luotettava.

7.8 Muut lopputuotteet

Kaasumittausten ohessa laadittiin Excel-taulukko kaasutuotannon viikoittaiseen seurantaan. Tarkoituksena on, että biologisen käsittelyn linjaesimies täyttää taulukoon viikoittain BR1 ja BR2 syötetyt jätemäärät ja tuotetun kaasun määrän. Luvut syötetään 1. välilehdelle. Muille välilehdille piirtyy kuvaajat, jotka esittävät graafisesti syötetyn jätemäärän ja tuotetun kaasun määrän sekä niille asetetut tavoitteet. Esimerkkikuvio kaasutuotannon seurannan taulukosta on esitetty kuviossa 18.



Kuvio 22. Esimerkkikuva kaasutuotannon seurannan taulukosta.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin biokaasun tuotantoa yleisesti kirjallisuutta, raportteja ja artikkeleita tutkimalla sekä tutustumalla Oy Stormossen Ab:n biokaasulaitoksen ja erityisesti sen BR2:n toimintaan. Tutkimuksen pääpaino oli biokaasun koostumukseen tutustumisessa ja koostumuksen vaihtelun seuraamisessa. Koostumuksen seuraamiseksi tutustuttiin laitoksen automaatiojärjestelmän raporttiohjelmasta löytyviin tietoihin tuotannosta vuosien varrelta sekä tehtiin itsenäisesti 244 omaa mitausta BR2:n tuotekaasusta. Erityinen tutkimuskohde oli biokaasun rikkivetypitoisuus, jonka hallintaan etsittiin keinoja kirjallisuudesta. Ferrihydroksidin vaikutusta biokaasun rikkivetypitoisuuteen tutkittiin kokeellisesti. Työn kirjalliseen osaan kirjoitettiin myös tiivis selvitys BR2:n mekaanisella esikäsitteilylaitoksella tehdyistä muutoksista ja arvioitiin muutosten vaikutusta laitoksen toimintaan.

Tutkimuksessa todettiin, että Stormossenin BR2:lta saatavan raa'an biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee välillä 56,6–68,8 % ja metaanipitoisuuden keskiarvo on 62,9 %. Tuotetun kaasun ja mikseriin syötetyn jätteen suhteen keskiarvo on vuosina 2004–2014 ollut $137 \text{ m}^3/\text{t}$. Nämä luvut vastaavat melko hyvin kirjallisuudessa esiteltyjä arvoja erilliskerätystä biojätteestä tuotetulle biokaasulle.

Luvussa 7.3. kuvataan miten paljon virtauksen määrä riippuu syötön ajankohdasta ja määrästä. Tasaisen tuoton takaamiseksi myös laitoksen syötön tulisi olla mahdollisimman tasaista siten, että syötettä lisätään reaktoriin useammin kuin muutama kerran päivässä.

Tutkimuksen toteutuksen onnistumista haittasi hieman esikäsitteilylaitoksen uudistusten valmistumisen viivästyminen muutamalla viikolla. Tämän vuoksi rautahydroksidin toimintaa reaktorissa ei ehditty kokeilla perusteellisesti kuin yhdellä anostelulla. Tästä huolimatta myös tähän tutkimuskysymykseen saatiin jonkinlainen vastaus: rautahydroksidi toimii rikkivetypitoisuuden hallinnassa syötteeseen lisätynä. Tästä ei juuri löytynyt kirjallisuusviitteitä, joten toimivuuden uskominen oli tutkimuksen aloitusvaiheessa kuulopuheiden varassa. Kuitenkin pitkällisen etsimisen ja tutkimisen jälkeen rautahydroksidin ja rikkivedyn välillä tapahtuvat reaktiot

löydettiin useista merikemiaa ja yleistä kemiaa käsittelevistä artikkeleista, ja saatuja tietoja sovellettiin anaerobiseen biokaasumaailmaan. Tavoitepitoisuuteen 300 ppm vaaditaan kokeilun perusteella noin 275 g ionimuotoisen raudan lisäys syötetonna kohti.

Mekaanisen esikäsittelylaitoksen uudet ratkaisut näyttävät toimivan kohtuullisen hyvin. Ruuvipuristimen erottamassa rejektissä ei silmämääräisesti arvioiden ole juurikaan biojätettä, toisin kuin aiemman rumpuseuraerottelun rejektissä. Myöskään biojätteen seassa ei silmämääräisesti arvioiden ole muovi- ja paperijätettä samaan tapaan kuin aiemmin. Tämä tarkoittaa sitä, että mikserin koko noin 150 tonnin kapasiteetti on käytettävissä syötteelle, mikä helpottaa biokaasulaitoksen ajamista viikonloppujen ja juhlapyhien aikaan, sillä näin mekaanista esikäsittelyä ei välttämättä tarvitse ajaa, vaan mikserissä olevaa syötettä voidaan käyttää laitoksen ajamiseen muutamia päiviä.

Uuden esikäsittelylaitoksen myötä myös mikseri tuntuisi toimivan paremmin. Aiemmin muovista oli haittaa sekä massan sekoittamiselle että jätteen pumppaamiselle reaktoriin. Uudenlainen jätemassan koostumus tuntuu kuitenkin sopivan mikserille paremmin. Aiemmin mikseriä oli pitänyt silloin tällöin tyhjentää ns. slus-sin kautta bioreaktorin ohi suoraan kompostoitumaan, jotta syöte oli saatu jälleen liikkeelle ja mikserin toimintaa haitannut muovi oli saatu poistettua /41/. Aiemmin mikseriin tullessa jätemassassa oli ollut muovia jopa 27,5 % painosta ja 54 % tilavuudesta /14, 79/.

Näin lyhyen tutkimusajan perusteella on mahdotonta päätellä tarkasti, onko uudella esikäsittelylaitoksella vaikutusta siihen, miten paljon tuotekaasua saadaan syötetonna kohti. Mikäli laitoksen tuotto pysyy tasolla, jolla se oli tutkimusajan, eli kaasua saadaan noin 65–90 kuutiota syötetonna kohti, voidaan todeta, että uuden esikäsittelyn myötä saavutettiin suurempi tuotto. Kuten aiemmin todettiin, joka tapauksessa esikäsittelyn läpäisee silmämääräisesti arvioiden nykyisin enemmän biojätettä kuin aiemmin. Näin ollen esikäsittelyyn vastaanotetusta biojätteestä saataneen muutosten myötä enemmän biokaasua kuin aiemmin.

Uuden esikäsittelylaitoksen tehokkuutta voidaan ja tulisikin arvioida myös muilla mittareilla kuin mikseriin tulevan muovijätteen määrän avulla sekä biokaasun tuotolla syötemassaan verrattuna. Se on vain yksi näkökulma laitoksen toimivuudesta. Ehdottaisin jatkotutkimuksina tutkittavaksi mädätysjäämän laatua sekä sitä miten paljon esikäsittelyn ruuvipuristimelta tulevassa rejektissä on biohajoavaa jätettä.

9 POHDINTA

Ympäristöministeriön biojäte-energiatyöryhmän raportissa todetaan, että biopolttoaineita ei voida tarkastella ympäristöstä irrallisena, sillä käytöllä on hyvin laajoja vaikutuksia. Esimerkiksi biokaasun tuotannossa tuotetaan samaan aikaan maakaasua korvaavaa biometaania ja humusmultaa, jota voidaan käyttää maaperän parantamistarkoitukseen. Jos biomateriaali poltettaisiin, menetettäisiin mahdollisuus maaperän humustilanteen parantamiseen. Biojätteitä hyödynnettäessä energiakäyttöön, vähenevät päästöt sekä jätteiden käsittelyn että fossiilisten polttoaineiden käytön osalta /48, 9/.

Biokaasun kohdalla oleellista on myös huomioida kaasuylijäämän käsittelyn ratkaisut. Soihutupoltto on toimiva ratkaisu, mutta soihtu on myös muistettava pitää kunnossa, sillä sen merkitys on juuri poltossa. Poltossa syntyvä hiilidioksidi synnyttää merkittävästi pienemmät ilmastovaikutukset kuin metaanin päästäminen ilmakehään sellaisenaan. Juuri tästä syystä Valtioneuvosto on määrännyt kaatopaikkakaasun keräämisestä, hyödyntämisestä ja poltosta jo vuonna 1997. Koska biokaasun metaanipitoisuus on suurempi kuin kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus, pitäisi biokaasun kohdalla huolehtia oikeasta käsittelystä erityisellä huomiolla.

Kaasuylijäämä on muutenkin suuri haaste järkevälle tuotannolle sekä laitoksen toiminnan että taloudellisten vaikutusten kautta. Varastokapasiteetin kasvattaminen olisi merkittävä investointi, joten järjestelmän automaation uudistamisessa tulisi keskittyä saamaan aikaan ratkaisu, jossa ainakin toista bioreaktoria ohjattaisiin siten, että syöttöä pienennettäisiin merkittävästi silloin kun kaasuväara on niin täynnä, että kaasun soihutupolton alaraja lähestyy. Tämän suunnittelussa on kuitenkin suuria haasteita, sillä reaktorin toiminnan ja kaasun laadun kannalta syöttö pitäisi pyrkiä pitämään mahdollisimman tasaisena. Kaasun tuotanto saadaan melko nopeasti pieniin lukemiin vähentämällä syöttöä, mutta tuoton nostaminen takaisin normaalille tasolle voi viedä useita päiviä. Epätasaisesta syötöstä seuraa myös väijäämättä epätasainen tuotto, mikä vaikeuttaa laitoksen toiminnan seuraamista ja tehokkuuden arviointia. Opinnäytetyönkin näkökulmasta ajateltuna biokaasulaitoksen seuraaminen oli haastava aihe juuri tästä syystä.

Stormossenin tilanteessa kaasuylijäämä ei liene tulevaisuudessa suuri ongelma, sillä kaasun jalostamisen ja liikennekäytön aloittamisen myötä kaasun käyttö muuttuu entistä tasaisemmaksi. Suurin osa kaasusta käytettäneen liikennepolttoaineeksi ja ylijäämäkaasulla pystytään tuottamaan sähköä kaasumootorissa. Näin ollen näyttää siltä, että soihdun käyttötarve vähenee tulevaisuudessa Stormossenilla.

Liikennekäyttöön jalostamisen yhteydessä saadaan sivutuotteena hiilidioksidia. Hiilidioksidille on olemassa markkinoita, joten sen myyminen kannattaa huomioida vartenotettavana vaihtoehtona ilmakehään vapauttamiselle. Hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen on olemassa erilaisia keinoja, joten sekä ympäristön että talouden kannalta kestävää olisi hyödyntää tässä vaiheessa saatava hiilidioksidi-kaasu. Hiilidioksidi voidaan erilaisin tekniikoin ottaa talteen esimerkiksi paineistettuna kaasuna tai hiilidioksidijäänä.

Kansantaloudellisesta näkökulmasta biokaasun tuotannolla ja käytöllä on myös suuri merkitys, sillä tuotanto on paikallista ja biokaasun parissa liikkuva raha jää kotimaahan. Biokaasuhankkeilla on aina merkitystä paikallisena työllistäjänä. Riippumatta siitä jalostetaanko tuotettu biokaasu liikennepolttoaineeksi, sen tuotanto vähentää aina myös riippuvuutta ulkomaisesta öljystä.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Wellinger, A; Murphy, J; Baxter, D. 2013. The Biogas handbook, Science, production and applications. Cambridge. Woodhead Publishing Ltd.
- /2/ Laakkonen, A; Lampinen, A. 2010. Kunnat liikennebiokaasun tuottajina ja käyttäjinä. Joensuu. Painokanava oy.
- /3/ Caruana, D. J; Olsen, A. E. 2012. Anaerobic digestion: processes, products and applications (e-kirja). New York. Nova Science Publishers.
- /4/ Gustafsson, M; Stoor, R. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. Raisio. Newprint Oy.
- /5/ Lampinen, A. 2003. Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. Kuntatekniikka 1/2003, s. 31-34.
- /6/ Lampinen, A. 2008. Liikennebiokaasulainsäädäntö, palvelututkimus 8/2008. Verkkojulkaisu. Vaasa. Levón-instituutti. Viitattu 17.3.2015. <http://www.vei.fi/files/pdf/300/Liikennebiokaasulainsaadanto.pdf>
- /7/ Oy Stormossen Ab. Merkittäviä vuosilukuja. Stormossenin kotisivut. Viitattu 30.1.2015. http://www.stormossen.fi/Merkittavia_vuosilukuja
- /8/ Oy Stormossen Ab. Näin kaikki alkoi. Stormossenin kotisivut. Viitattu 30.1.2015. http://www.stormossen.fi/Nain_kaikki_alkoi
- /9/ Oy Stormossen Ab. Omistajakunnat. Stormossenin kotisivut. Viitattu 30.1.2015. <http://www.stormossen.fi/Omistajakunnat>
- /10/ Oy Stormossen Ab. Yrityskuvaus. Stormossenin kotisivut. Viitattu 30.1.2015. <http://www.stormossen.fi/Yrityskuvaus>
- /11/ Oy Stormossen Ab. 2014. Vuosikertomus 2013. Vaasa. Fram Oy.
- /12/ Anhava, J; Ekholm, E; Ikäheimo, E; Koskela, K; Kurvi, M; Walavaara, M. 2001. Jätehuollon materiaali kierrätyksen teknologiat ja niiden kehittämistarpeet. Helsinki. Tekes.
- /13/ Knookala, H. 2015. Käyttöpäällikkö. Oy Stormossen Ab. Keskustelut Stormossenilla 15.1.-29.4.2015.
- /14/ Saarela, J. 2008. Kartläggning av Bioreaktor 2 vid Stormossen. Opinnäytetyö. Vaasa. Yrkeshögskolan Novia.
- /15/ Deubleim, D; Steinhäuser, A. 2011. Biogas from Waste and Renewable Resources. Weinheim. Wiley-VCH.

- /16/ L 17.6.2011/646 Jätelaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 2.3.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>
- /17/ A 2.5.2013/331 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 2.3.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>
- /18/ Wahlström, M; Laine-Ylijoki, J; Jermkka J. 2012. Taustamuistio kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamista varten, Ympäristöministeriön raportteja 11/2012. Raportti Suomen ympäristökeskuksen helda-julkaisuarkistossa. Viitattu 2.3.2015. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/41421>
- /19/ Moliis, K; Teerioja, N; Ollikainen, M. 2009. Ennuste yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030. Raportti jätelaitosyhdistyksen sivuilla. Viitattu 2.3.2015. http://www.jly.fi/ennuste_ykjkehityksesta.pdf
- /20/ Ympäristöministeriö. 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa – Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Raportti Suomen ympäristökeskuksen helda-julkaisuarkistossa. Viitattu 2.3.2015. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38363>
- /21/ Hämäläinen, T. 2014. Jätehuolto muuttuvassa ympäristössä. Diaesitys jätelaitosyhdistyksen kenttäväen koulutuspäivillä Saarijärvellä 19.–20.3.2014.
- /22/ Hänninen, K. (toim.). 2010. Jätteiden käsittely ja kierrätys Suomessa. 2. uudistettu painos. Jyväskylä. Jyväskylän yliopistopaino.
- /23/ Jätelaitosyhdistys JLY. Biologisia jätteenkäsittelylaitoksia. Jätelaitosyhdistyksen kotisivut. Viitattu 10.3.2015. http://www.jly.fi/laitokset_bio.php
- /24/ Penttala, M. 2013. Biokaasulaitoksen prosessit. Prosessikuvaukset Stormossenin intrassa. Viitattu 16.3.2015. http://asterix/prosessi/FI_tbiojate.htm
- /25/ Saarela, J. 2015. Kehitysinsinööri. Oy Stormossen Ab. Keskustelut Stormossenilla 27.–29.4.2015.
- /26/ Oy Stormossen Ab. Tavoitteet 2015. Stormossenin kotisivut. Viitattu 11.3.2015. <http://www.stormossen.fi/documents/key20150311093150/Tiedostot/Tavoitteet%202015.pdf>
- /27/ Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki. Suomen ympäristökeskus.
- /28/ Biokaasuauto. 2015. Biokaasun jalostus biometaaniksi. Viitattu 9.2.2015. <http://www.biokaasuauto.fi/biokaasu/biokaasusta-biometaan>

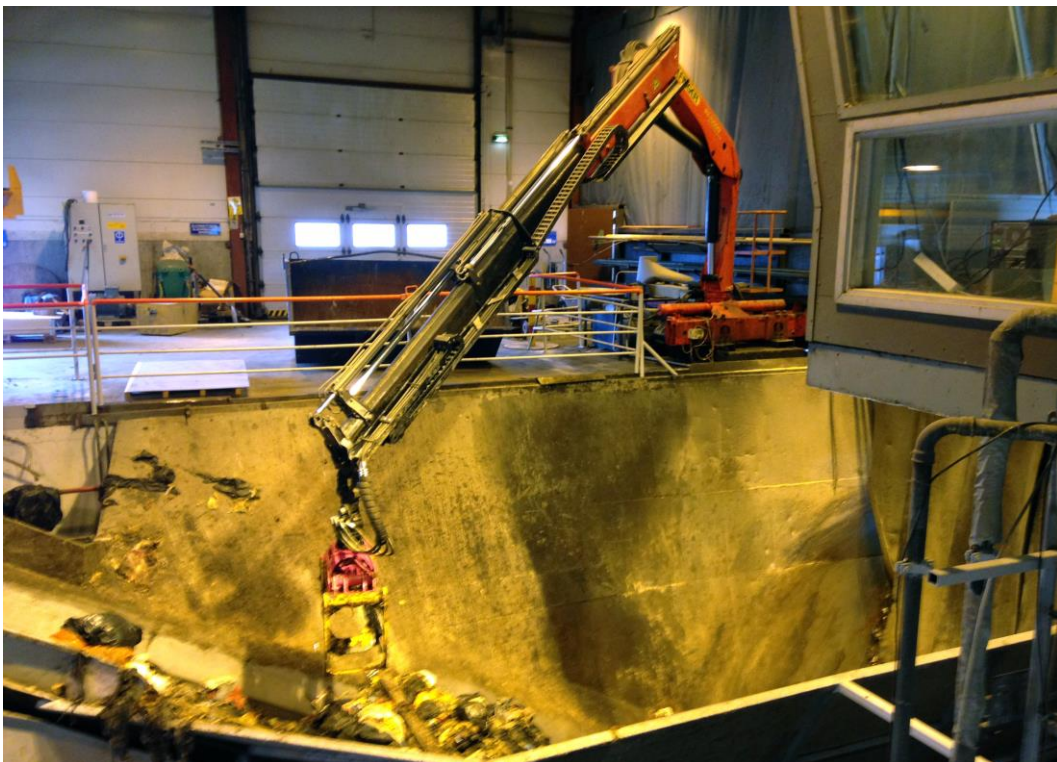
- /29/ Myllymaa, T; Moliis, K; Tohka, A; Rantanen, P; Ollikainen, M; Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti. Helsinki. Suomen ympäristökeskus.
- /30/ Kennes, C; Veiga, M. C. 2013. Air Pollution Prevention and Control (e-kirja). Chichester. John Wiley & Sons Ltd.
- /31/ IPCS, CEC (suom. TTL 2012). 2010. Metaanin kemikaalikortti. Kemikaalikortti TTL:n sivuilta. Viitattu 4.3.2015.
<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0291.htm>
- /32/ Baird, C. 2001. Environmental Chemistry. New York. W. H. Freeman and company.
- /33/ Hämälä, S; Laine, J; Vesa, P. 1992. Ilmansuojelutekniikka. Jyväskylä. Tammertekniikka.
- /34/ Karamäki, E. M. 1983. Epäorgaaniset kemikaalit. Jyväskylä. Gummerus Oy.
- /35/ Dewil, R; Appels, L; Baeyens, J. 2005. Energy use of biogas hampered by the presence of siloxanes. Artikkelijulkaisussa Energy Conversion and Management 47 (2006). Viitattu 6.3.2015.
<http://epics.ecn.purdue.edu/bgi/Documents/Fall%202009/Energy%20hampered%20by%20siloxanes.pdf>
- /36/ Pettersson, A; Wellinger, A. 2009. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. Kansainvälisen bioenergia-yhtesö IEA:n 37. aiheen sivuilta. Viitattu 10.3.2015. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf
- /37/ Kronos International inc. 2014. Hydrogen sulfide elimination from biogas (Technical information 5.01). Leverkusen. Kronos.
- /38/ dos Santos Alfonso, M; Stumm, W. 1992. Reductive Dissolution of Iron(III) (Hydr)oxides by Hydrogen Sulfide. Langmuir, vol 8, s. 1671–1675
- /39/ Persson, M; Jönsson, O; Wellinger, A. 2006. Biogas upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection. Kansainvälisen bioenergia-yhtesö IEA:n 37. aiheen sivuilta. Viitattu 10.3.2015. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_report_final.pdf
- /40/ LSU-2004-Y-1253. 2006. Ympäristölupapäätös. Miljötillståndsansökan enligt 35 § miljöskyddslagen, som gäller verksamheten vid Ab Avfallsservice Stormossen Jätehuolto Oy:s avfallsbehandlingsanläggning. Länsi-Suomen Ympäristökeskus.
- /41/ Kalander, T. 2015. Linjaesimies. Keskustelut Stormossenilla 23.3.–29.4.2015.

- /42/ Hermann Sewerin GmbH. 2013. Tehnical data sheet Multitec 540. Gütersloh.
- /43/ Hermann Sewerin GmbH. 2015. Multitec 545/540 Operating instructions. Gütersloh.
- /44/ Schaumann Bioenergy GmbH. BC ATOX Scon. Tuote-esite Schaumann Bioenergyn kotisivuilta. Tulostettu 10.12.2014. http://www.schaumann-bioenergy.eu/cps/bioenergy/ds_doc/rgb_GB_PRO_BC.ATOX_Ncon_Scon_130612.pdf
- /45/ Schaumann Bioenergy GmbH. Iron preparations. Schaumann bioenergyn kotisivut. Viitattu 10.12.2014. http://www.schaumann-bioenergy.eu/iron_%20preparations.html
- /46/ Steiner, J. 2015. Project-Manager Biogas. Schaumann Bioenergy GmbH. Sähköpostikirjeenvaihto 30.3.2015.
- /47/ Preisser, D; Drochner, U; Lemmer, A; Oechner, H; Jungbluth, T. 2010. Sulphur binding in biogas plants using ferric salts. Landtechnik. vol 65, 3, s. 201–203.
- /48/ Ojala, Jaakko ym. 2010. Biohajoavista jätteistä enemmän energiaa. Biojäteenergiatyöryhmän raportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2010. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- /49/ Motiva. 2014. Energiaa pelloilta, biokaasu. Viitattu 2.5.2015. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu
- /50/ Lampinen, A. 2014. Liikennebiokaasu Suomessa 1941–2014. Raporttiteoksessa Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Tiedot vuodelta 2013. Itä-Suomen yliopiston julkaisuja, s. 12–26. Viitattu 2.5.2015. <http://www.biokaasuyhdystys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2013.pdf>

KUVIA STORMOSSENIN BIOKAASULAITOKSELTA



1. Biojätteen vastaanottosiilo



2. Nosturi isojen biojätteeseen kuulumattomien jätteiden poistamiseen



3. Esikäsittelyn pääkomponentit



4. Esimurskain



5. Vasaramurskain



6. Bioreaktorin yläosa



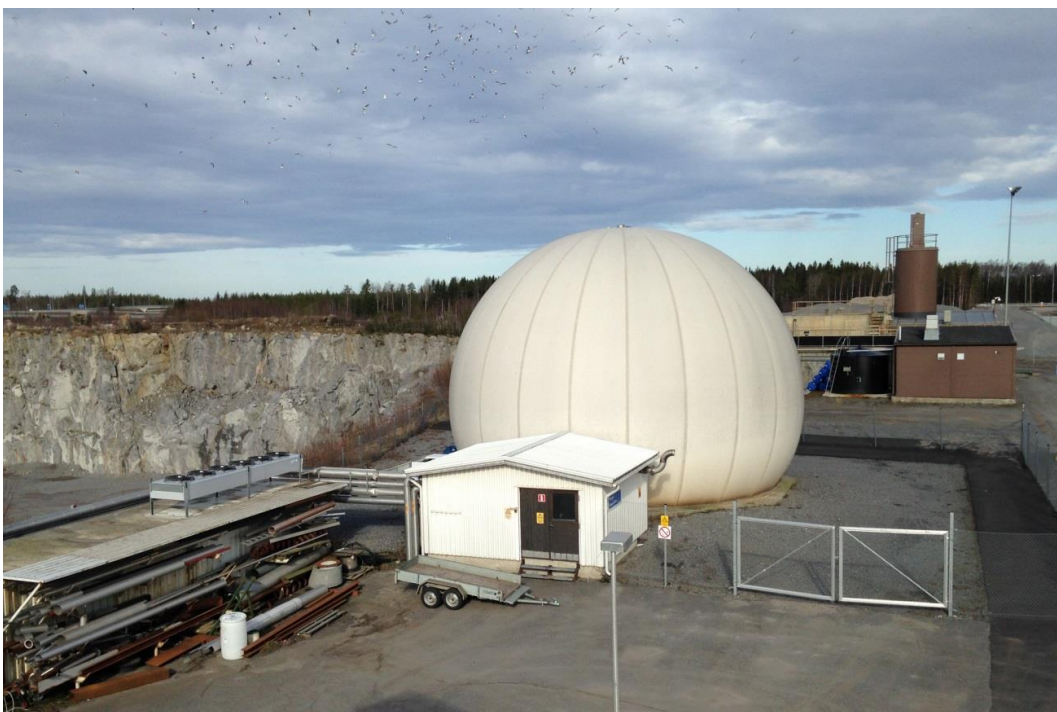
7. Kuivattua mädätysjäännöstä



8. Kuivattuun mädätysjäämään sekoitettavaa haketta



9. Kompostiaumat, joissa mädätysjäämän ja hakkeen seosta



10. Kaasuvarasto



11. Muovirejekiä esikäsittelylaitokselta



12. Muovirejekiä esikäsittelylaitokselta

Ns. normaalin viikon kaasuntuotto							
		kaasu m3	syöttö (seos m3)	CH4 %	kaasusumma	syöttösumma	kaasua / syötekuutio
1.6.2014	0:00:00	148	0,0	61	148	0	
	1:00:00	131	0,0	61	131	0,0	
	2:00:00	124	0,0	61	256	0,0	
	3:00:00	120	0,0	61	376	0,0	
	4:00:00	109	0,0	61	485	0,0	
	5:00:00	110	0,0	60	595	0,0	
	6:00:00	97	0,0	61	693	0,0	
	7:00:00	91	0,0	61	784	0,0	
	8:00:00	83	0,0	61	867	0,0	
	9:00:00	79	0,0	62	946	0,0	
	10:00:00	74	2,9	62	1020	2,9	
	11:00:00	136	3,3	62	1156	6,2	
	12:00:00	109	0,0	61	1265	6,2	
	13:00:00	84	0,0	62	1349	6,2	
	14:00:00	75	0,0	63	1424	6,2	
	15:00:00	62	0,0	62	1487	6,2	
	16:00:00	68	0,0	62	1555	6,2	
	17:00:00	64	0,0	62	1619	6,2	
	18:00:00	52	0,0	62	1671	6,2	
	19:00:00	61	0,0	62	1732	6,2	
	20:00:00	55	0,0	62	1788	6,2	
	21:00:00	53	0,0	63	1841	6,2	
	22:00:00	51	0,0	63	1892	6,2	
	23:00:00	50	0,0	63	1942	6,2	
2.6.2014	0:00:00	53	0,0	63	1995	6,3	319
	1:00:00	45	0,0	64	45	0,0	
	2:00:00	45	0,0	64	90	0,0	
	3:00:00	46	0,0	64	136	0,0	
	4:00:00	39	0,0	64	175	0,0	
	5:00:00	40	0,0	64	215	0,1	
	6:00:00	36	0,0	65	250	0,1	
	7:00:00	42	1,8	64	293	1,9	
	8:00:00	39	2,7	64	332	4,6	
	9:00:00	51	0,0	64	382	4,6	
	10:00:00	56	0,0	64	438	4,6	
	11:00:00	44	0,0	64	482	4,6	
	12:00:00	40	0,0	64	522	4,6	
	13:00:00	44	0,0	64	566	4,6	
	14:00:00	40	0,0	64	606	4,6	
	15:00:00	86	12,4	64	692	17,0	
	16:00:00	229	17,2	63	921	34,2	
	17:00:00	335	11,9	61	1256	46,0	
	18:00:00	379	15,0	60	1636	61,0	
	19:00:00	392	11,1	60	2027	72,1	
	20:00:00	401	7,9	60	2429	80,0	
	21:00:00	378	2,8	60	2806	82,9	
	22:00:00	312	0,0	61	3118	82,9	
	23:00:00	279	0,0	62	3397	82,9	
3.6.2014	0:00:00	224	0,0	63	3621	82,9	44
	1:00:00	262	9,2	63	262	9,2	
	2:00:00	335	6,5	63	597	15,8	
	3:00:00	306	1,6	62	903	17,4	
	4:00:00	252	0,0	63	1156	17,4	

		kaasu m3	syöttö (seos m3)	CH4 %	kaasusumma	syöttösumma	kaasua / syötekuutio
	5:00:00	207	0,0	63	1363	17,4	
	6:00:00	188	0,0	63	1551	17,4	
	7:00:00	167	0,0	63	1718	17,4	
	8:00:00	160	0,0	62	1878	17,4	
	9:00:00	158	4,1	63	2036	21,5	
	10:00:00	163	0,0	62	2199	21,5	
	11:00:00	145	0,0	62	2344	21,5	
	12:00:00	135	0,0	61	2478	21,5	
	13:00:00	207	2,6	60	2685	24,2	
	14:00:00	312	11,7	60	2997	35,8	
	15:00:00	373	0,0	59	3370	35,8	
	16:00:00	418	16,6	59	3788	52,4	
	17:00:00	423	8,8	58	4212	61,2	
	18:00:00	445	11,6	58	4657	72,8	
	19:00:00	457	10,2	58	5114	83,0	
	20:00:00	466	9,6	57	5580	92,6	
	21:00:00	455	7,9	58	6036	100,5	
	22:00:00	422	0,0	59	6458	100,5	
	23:00:00	372	0,0	60	6829	100,5	
4.6.2014	0:00:00	327	0,0	61	7157	100,5	71
	1:00:00	298	0,4	61	298	0,4	
	2:00:00	285	0,0	62	584	0,4	
	3:00:00	263	0,0	61	846	0,4	
	4:00:00	237	0,0	61	1083	0,4	
	5:00:00	216	0,0	61	1299	0,4	
	6:00:00	200	0,0	61	1499	0,4	
	7:00:00	188	0,0	61	1686	0,4	
	8:00:00	171	0,0	61	1857	0,4	
	9:00:00	161	0,9	61	2018	1,3	
	10:00:00	150	0,0	61	2168	1,3	
	11:00:00	136	0,0	61	2304	1,3	
	12:00:00	166	9,5	61	2470	10,9	
	13:00:00	310	12,8	61	2780	23,7	
	14:00:00	355		60	3135	23,7	
	15:00:00	437		59	3572	23,7	
	16:00:00	457		59	4030	23,7	
	17:00:00	462	10,6	59	4491	34,3	
	18:00:00	455	6,3	59	4946	40,6	
	19:00:00	383	0,0	59	5329	40,6	
	20:00:00	319	0,0	60	5649	40,6	
	21:00:00	283	0,0	61	5931	40,6	
	22:00:00	254	0,0	62	6185	40,6	
	23:00:00	229	0,0	62	6414	40,6	
5.6.2014	0:00:00	219	0,0	62	6633	40,6	163
	1:00:00	254	6,9	61	254	6,9	
	2:00:00	346	7,1	61	599	14,0	
	3:00:00	356	5,6	60	955	19,6	
	4:00:00	314	0,1	60	1269	19,7	
	5:00:00	266	0,0	60	1536	19,7	
	6:00:00	217	0,0	60	1753	19,7	
	7:00:00	197	0,0	60	1950	19,7	
	8:00:00	200	10,3	61	2150	30,0	
	9:00:00	176	0,0	61	2326	30,0	
	10:00:00	166	6,3	61	2491	36,3	
	11:00:00	162	0,0	61	2653	36,3	

		kaasu m3	syöttö (seos m3)	CH4 %	kaasusumma	syöttösumma	kaasua / syötekuutio
	12:00:00	145	0,0	61	2799	36,3	
	13:00:00	149	0,0	61	2948	36,3	
	14:00:00	147	0,0	61	3095	36,3	
	15:00:00	135	1,8	61	3230	38,1	
	16:00:00	210	10,3	61	3439	48,4	
	17:00:00	342	12,3	61	3781	60,7	
	18:00:00	359	9,8	60	4141	70,5	
	19:00:00	335	4,3	60	4476	74,8	
	20:00:00	284	0,0	60	4761	74,8	
	21:00:00	217	0,0	60	4978	74,8	
	22:00:00	190	0,0	61	5168	74,8	
	23:00:00	171	0,0	61	5339	74,8	
6.6.2014	0:00:00	165	0,0	61	5505	74,8	74
	1:00:00	158	0,0	61	158	0,0	
	2:00:00	142	0,0	61	300	0,0	
	3:00:00	145	0,0	61	444	0,0	
	4:00:00	130	0,0	61	574	0,0	
	5:00:00	121	0,0	61	695	0,0	
	6:00:00	114	0,0	61	809	0,0	
	7:00:00	105	0,0	61	914	0,0	
	8:00:00	190	22,9	61	1104	22,9	
	9:00:00	260	7,2	60	1365	30,2	
	10:00:00	237	11,3	60	1602	41,5	
	11:00:00	152	0,0	61	1754	41,5	
	12:00:00	123	0,0	61	1877	41,5	
	13:00:00	119	0,0	61	1996	41,5	
	14:00:00	108	0,0	61	2104	41,5	
	15:00:00	106	7,6	61	2210	49,1	
	16:00:00	102	0,0	61	2311	49,1	
	17:00:00	92	0,0	61	2404	49,1	
	18:00:00	92	0,0	61	2496	49,1	
	19:00:00	85	0,0	62	2580	49,1	
	20:00:00	86	0,0	61	2666	49,1	
	21:00:00	80	0,0	61	2747	49,1	
	22:00:00	68	0,0	61	2815	49,1	
	23:00:00	67	0,0	61	2882	49,1	
7.6.2014	0:00:00	69	0,0	61	2951	49,1	60
	1:00:00	63	0,0	61	63	0,0	
	2:00:00	56	0,0	62	118	0,0	
	3:00:00	63	0,0	61	181	0,0	
	4:00:00	59	0,0	62	240	0,0	
	5:00:00	49	0,0	62	288	0,0	
	6:00:00	56	0,0	62	344	0,0	
	7:00:00	48	0,0	62	393	0,0	
	8:00:00	43	0,0	62	436	0,0	
	9:00:00	38	0,0	62	474	0,0	
	10:00:00	47	0,0	62	521	0,0	
	11:00:00	48	0,0	62	569	0,0	
	12:00:00	35	0,0	62	604	0,0	
	13:00:00	44	0,0	62	648	0,0	
	14:00:00	39	0,0	62	687	0,0	
	15:00:00	92	13,8	62	779	13,8	
	16:00:00	293	11,7	60	1072	25,5	
	17:00:00	242	1,1	59	1314	26,7	
	18:00:00	303	12,6	60	1617	39,3	

		kaasu m3	syöttö (seos m3)	CH4 %	kaasusumma	syöttösumma	kaasua / syötekuutio
	19:00:00	357	11,8	60	1974	51,1	
	20:00:00	291	0,0	60	2265	51,1	
	21:00:00	209	0,0	61	2474	51,1	
	22:00:00	151	0,0	62	2625	51,1	
	23:00:00	97	0,0	63	2722	51,1	
	0:00:00	82	0,0	63	2804	51,1	55
koko viikko		30813	191,9				161

Kaasun koostumuspäiväkirja BR2

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
23.3.	15:00	64,5	36	0	800				
	16:00	64,5	36	0	890	38,9	555		
24.3.	7:00							2,1	
	8:30	63,5	37	0	770	24,8	169		
	9:10	64,8	36	0	878				
	9:35	64,2	35	0	882				
	9:50					25,6	189		
	10:25	64,6	36	0	948	24,9	197		
	10:50	64,9	35	0	972	24,7	206		
	11:15	64,9	35	0	962	25,2	212		
	11:45	65	35	0	990	25,5	222		
	12:30							9,5	
	12:50	65,3	35	0	998	33,1	247		
	13:20	65,1	36	0	1000	41,9	258		
	14:00	64,4	36	0	1100	65	295		
	14:25	63,5	37	0	1100	70,2	306	4	
	15:05	63	37	0	1000	77,3	349		
	15:45	62,6	38	0	1100	82,3	382		
	16:00	62,3	38	0	1100	81,6	401		
	21:00							9,4	
	22:00							4	
25.3.	7:00							9,9	
	8:15	61	39	0	1200	123,7	508		
	9:00	60,5	40	0	1300	110,9	570		
	9:30	60,5	40	0	1300	106,1	591		
	10:00	60,7	40	0	1200	100,5	626		
	10:45	60,5	40	0	1300	102,7	669		
	11:00							11,1	
	11:15	60,3	40	0	1300	125,5	729		
	11:45	59,7	41	0	1300	149,5	769		
	12:40	59,2	41	0	1300	128,2	850		
	13:30	61,4	43	0	1300	122,6	925	16,6	
	13:55	60,2	44	0	1300	141,1	973		
	14:35	58,3	46	0	1400	199,5	1075		
	15:10	58	46	0	1400	179,2	1140		
	15:30	58,2	47	0	1400	165,7	1169		
	16:30	57,7	47	0	1400	173,4	1280	9,9	
	19:00							7,2	
	20:00							7,9	
	22:00							9,9	
26.3.	5:00							10,1	
	7:35	64,7	41	0	1300	173,6	841		
	8:30	65,4	40	0	1300	159,3	938		
	9:10	65,3	40	0	1300	145,1	990		
	9:35	66,2	39	0	1300	145	1034		
	10:00	65,7	39	0	1200	143	1068		
	10:25	65,6	39	0	1200	133,4	1104		
	11:15	66,2	38	0	1200	127,6	1178		
	11:45	66,9	38	0	1200	129,8	1221		
	12:25	67	37	0	1200	119,7	1274		
	13:30	67,5	37	0	1200	113	1351		
	13:45	67,6	36	0	1100	106	1368		
	14:05	67,2	37	0	1100	126,5	1407	25	
	14:45	66	39	0	1200	209,4	1509		
	15:10	64,4	40	0	1200	201,9	1557		
	15:40	64,3	40	0	1300	207,6	1636	13,6	
	16:20	62,3	43	0	1300	225,3	1729		
27.3.	8:00							9,2	

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
	8:40	65,6	39	0	1300	153,3	721		
	9:05	65,1	39	0	1300	154,2	761		
	10:15	64,1	40	0	1400	127,2	859		
	10:45	64	40	0	1400	123,9	903		
	11:00							9,4	
	11:25	63,8	41	0	1400	140,5	967		
	12:00	63,3	41	0	1400	176,6	1043		
	12:50	63,1	42	0	1400	159,8	1135		
	13:20	62,8	43	0	1500	145,1	1175		
	13:45	62,8	42	0	1400	139	1214		
	14:25	63,1	43	0	1400	131,6	1269		
	14:40							10,1	
	14:50	63,2	42	0	1400	142,3	1320		
	15:45	62,2	43	0	1400	188,8	1432		
	16:10	62,3	43	0	1500	174,9	1483		
	16:30							20,9	
	21:00							4,1	
28.3.	16:00							34,4	
	19:00							15,8	
29.3.	14:00							30,2	
	19:00							20,3	
30.3.	7:00							10	
	8:30	61,5	39	0	1200	192,4	948		
	9:00	61,8	38	0	1200	168,4	996		
	9:30	60,9	39	0	1300				
	11:10	61,9	38	0	1200	130,8	1202		
	11:45	62,7	37	0	1100	128,3	1255		
	12:40	63,1	37	0	1200	124,1	1328		
	13:05	63	37	0	1200	118,6			
	13:30	63	37	0	1200	106,8	1385		
	14:15							21,3	
	14:25	62,4	38	0	1100	135,4	1469		
	15:00	60,5	40	0	1200	235,6	1579		
	15:20	59,5	41	0	1300	262,1	1630		
	15:40							19	
	16:10	56,7	44	0	1400	293,4	1821		
31.3.	7:00							10	
	8:30	61,9	38	0	1200	168,6	728		
	9:00	61,8	39	0	1300	157,7	766		
	9:25	61,8	39	0	1300	141,8	813		
	11:00	62,5	38	0	1200	115,8	942		
	11:25	62,4	38	0	1200	113	971		
	11:50	62,3	38	0	1200	107,9	999		
	12:00							8,4	
	12:45	59,6	41	0	1300	245,3	1155		
	13:05	58,2	42	0	1300	288,6	1230		
	13:30	57	44	0	1300	269,6	1296		
	13:50	56,6	44	0	1300				
	14:15	57,1	44	0	1300	215,5	1404		
	15:45	57,6	43	0	1300	184	1587		
	16:15	58,9	42	0	1300	177,2	1648		
	16:30							14,9	
1.4.	7:40							10,1	
	8:40	62,1	39	0	1200	180,3	768		
	9:00	61,7	39	0	1200	163,6	798		
	10:25	62,4	39	0	1100	138,2	936		
	11:00	62,2	39	0	1100	128,2	982		
	11:45	63	38	0	1100	121,1	1045		
	13:00							19,6	
	14:05	59,6	42	0	1200	291,6	1349		
	14:35	59,3	42	0	1200	255,5	1427		

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
	15:40	59,4	42	0	1200	197,5	1564		
	15:55	59,2	42	0	1200	193,4	1598		
	16:00							9	
	18:00							10,1	
2.4.	7:00							15,1	
	8:15	61,6	39	0	984	189,2	802		
	8:45	61,9	39	0	978	159,8	853		
	10:35	62,5	39	0	956	139	1021		
	11:00	62,7	38	0	958	133,2	1062		
	12:05	63,6	38	0	950	125,7	1148		
	13:10	64,1	37	0	932	112	1227		
	13:45	64,3	37	0	930	108,6	1275		
	14:15	64,4	37	0	926	102,1	1303		
	15:15							8,5	
	15:35	64,3	37	0	924	154,6	1443		
	16:00	63,9	37	0	932	172,8	1477		
3.4.	9:00							15,2	
	21:00							15,1	
4.4.	9:00							10,2	
	18:00							10	
5.4.	9:00							10,1	
6.4.	11:00							15,2	
	20:00							15	
7.4.	7:00							10,1	
	8:15	62,1	39	0	798	120	386		
	8:50	61,7	40	0	822	100,1	414		
	10:45	62,5	39	0	806	77,6	521		
	11:15	62,6	39	0	812	75,4	547		
	11:45	68,8	38	0	812	71,4	568		
	13:35	64	38	0	794	60,2	648		
	14:05	63,6	38	0	790	58,8	661		
	15:50	64,3	37	0	784	52,9	726		
	16:20	63,9	37	0	782	49,8	742		
	18:00							10,1	
	19:00							19,8	
8.4.	8:15	63,8	37	0	746	63,4	472		
	8:50	64,3	37	0	736	59,3	499		
	10:40	64,1	37	0	676	54		15,1	
	11:20	62,2	39	0	728	140,6	647		
	12:05	61,3	40	0	766	144,9	715		
	14:00							13,6	
	14:30	59,5	42	0	806	175,9	987		
	15:15	59,4	42	0	812	148,1	1053		
	15:40	59,8	42	0	802	142,8	1089		
	17:10	61,3	40	0	778	126,7	1218		
	17:40	61,6	40	0	772	120,8	1262		
	18:10	61,6	39	0	768	119,3	1302		
	18:40	61,8	39	0	766			20	
9.4.	7:45							20,5	
	8:10	61,6	40	0	724	202,8	640		
	8:40	58,9	42	0	740	255,6	704		
	10:20	59,9	42	0	704	157,2	892		
	10:50	60,2	42	0	678	147,9	939		
	12:00	61,5	40	0	680	143,3	1049		
	13:20	62,5	39	0	664	132,2	1169		
	13:55	62,3	39	0	654	122,6	1211		
	15:00							7,9	
	15:45	61,7	39	0	658	187,1	1399		
	16:30	60,6	40	0	662	165,8	1478		
	21:00							19,8	
10.4.	8:00							36,3	

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
	12:35	61,4	40	0	628	218,5	1690		
	13:00	61	40	0	630	221,2	1736		
	14:15	63,5	39	0	602	195,9	1907		
	14:45	63	39	0	604	200	2000	23,8	
	15:05	61,5	40	0	632	287,1	2084		
	16:10	58,1	44	0	674	341,3	2327		
12.4.	21:00							20,3	
13.4.	7:00							20,4	
	8:25	61,7	40	0	652	182,2	588		
	9:00	61	40	0	658	160,8	642		
	10:25	63	38	0	636	135,2	769		
	10:45	62,5	39	0	640	139,2	817	19,6	
	11:55	60,7	41	0	664	249,2	998		
	13:05	59,8	42	0	658	223,7	1188	19,3	
	13:50	57,9	43	0	676	332	1348		
	14:30							10,1	
	15:15	57,1	44	0	666	320,2	1651		
	16:00	57,6	44	0	650	261,6	1782		
	16:30	59	42	0	628	255,1	1861		
14.4.	12:30	65,5	36	0	540	52,1	627		
	13:05	65,6	36	0	552	52,6	647		
	14:45	66,4	36	0	538	48,2	705		
	15:15	66,4	36	0	542	47,5	714		
	16:10	66,3	36	0	544	47,2	744		
	16:55	66,6	36	0	542				
	17:30	65,8	36	0	544	44,8	783		
	18:00	66,1	36	0	550	44	801		
	18:30	66	36	0	546	42,6	813		
	18:50	66,2	36	0	550	42,6	826		
	19:00							15,1	
15.4.	7:00							15,7	
	8:20	63,1	39	0	592	176,3	397		
	9:30	62,2	39	0	594	141,3	508		
	10:15	62,2	39	0	606	123,4	569		
	11:25	63,2	39	0	596	96,7	648		
	11:55	63,5	38	0	594	89,8	675		
	13:05	64,4	37	0	582				
	13:35	63,8	37	0	586	69,6	754		
	15:10	64,8	36	0	572	59,3	823		
	15:35	64,8	36	0	574	59,1	834		
	16:15	64,9	36	0	568	54,7	863		
16.4.	8:25	66,3	35	0	570	37	208	15	
	8:55	64,9	37	0	588	81,7	242		
	10:00	63,4	38	0	596				
	10:55	63,5	38	0	596	109,5	156		
	12:05	64,4	38	0	594	86,6	226		
	13:50	65,2	37	0	586	58,5	296		
	15:05	65,6	36	0	578	46,1	37		
	16:20	66	36	0	574	47,7	375		
17.4.	7:20							15,1	
	8:10	64,9	37	0	598	126,1	247		
	8:45	63,7	38	0	610				
	10:55	64,4	38	0	604	79,5	413		
	11:25	64,4	37	0	608	70	445		
	12:10	65,1	37	0	604	59,9	469		
	13:30	65,6	36	0	590	50,3	515		
	13:50	64,9	36	0	600	44	522		
19.4.	12:00							3,8	
	17:00							27,6	
20.4.	7:10							20	
	8:10	63,9	38	0	632	173,5	331		

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
	8:40	63,4	38	0	646	153,8	371		
	10:45	64,1	38	0	456	0	518		sekoitus pois
	11:10	63,4	38	0	412	0	541		sekoitus pois
	12:05	64,9	37	0	450	86,5	595		
	13:05	65,6	36	0	568	71,6	648		
	13:30	65,8	36	0	574	0	666		sekoitus pois
	13:55	64,8	36	0	578	0	678		sekoitus pois
	15:50	66,4	35	0	614	54,8	752		
	16:15	65,5	35	0	620	53,3	766		
	21:00							10	
21.4.	8:30	66,6	35	0	554	39,8	290		
	9:05	65,9	35	0	568	39,5	304		
	10:30	66,6	35	0	562	36,3	338		
	11:05	66	35	0	570	37,6	354		
	12:25	66,6	35	0	540	37,3	382		
	14:00							4,2	
	14:10	64,6	36	0	582	78,1	462		
	14:45	63,9	36	0	578	88,1	496		
	16:00	65,6	36	0	568	75,8	568	23,1	
	16:20	61	40	0	578	132,7	610		
22.4.	7:00							10	
	8:20	65,6	36	0	532	119,1	400		
	8:55	64,9	36	0	544	111,8	440	10,2	
	10:30	64,7	37	0	566	156,6	583		
	11:30	64,7	36	0	580				
	11:55	64,8	37	0	580	117,1	697		
	13:15	66,1	36	0	574	98,9	793		
	13:45	65,7	36	0	572	89	812		
	14:00							9,8	
	15:30	65,6	35	0	582	139,2	948		
	15:55	64,3	36	0	574	159,9	990		
	19:00							10,6	
	21:00							19,5	
	22:00							10	
23.4.	7:00							10,1	
	8:00							15,1	
	9:35	61,4	40	0	572	260,8	1207		
	10:05	61,4	40	0	570	230,9	1279		
	10:45	62,4	39	0	560	257,1	1402		
	12:05	61,5	40	0	552	254,8	1637	6,6	
	13:00							8,5	
	13:25	61,3	41	0	560	316,9	1920		
	14:40	62,9	39	0	530	250,7	2127		
	15:10	61,9	39	0	528	240,3	2209	20,4	
	16:10	61,2	40	0	544	372,9	2454		
	20:00							7,8	
	22:00							8,6	
	23:00							10	
24.4.	7:00							20,3	
	8:20	62,2	39	0	492	263,8	1067		
	9:00							9,7	
	9:40	64,5	37	0	482	244,3	1284		
	10:15	63,4	38	0	492	260,9	1365		
	11:15							19,7	
	11:30	64,4	37	0	482	215,4	1553		
	12:00							9,8	
	12:10	63	38	0	506	307	1697		
	13:00	62,2	38	0	502	312,8	1872		
	13:30	60,6	39	0	516	315,9	1981		
	15:10							20,1	
	16:10	62,9	37	0	502	314,4	2499		

		%	%	%	ppm	m3/h	m3		
		CH4	CO2	O2	H2S	virtaus	kaasuntuotto	syöttö	huomioita
	18:00							19,8	
25.4.	7:00							23,5	
	10:00							15,7	
	13:00							19,2	
	17:00							14,8	
	22:00							13,5	
26.4.	7:00							40,5	
	17:00							10,6	
	19:00							19,6	
27.4.	7:00							21,5	
	10:00							8,4	
	13:00							18,8	
	13:45	63,3	37	0	750	366,2	1953		
	15:00							10	
	15:50	66,4	34	0	710	276,6	2382		
	17:05	63,7	33	0	734	358	2668		
	17:30	62,7	33	0	726	354,4	2749		
	17:50	63,3	33	0	718	320,9	2802		
	21:00							14,2	
28.4.	7:00							18,9	
	8:10	60,8	36	0	698	184,3	764		
	9:50	60,8	35	0	712	279,3	1112		
	10:30	61,3	35	0	710	243,3	1206		
	12:00	63,9	32	0	686	162	1383		
	13:00							20,1	
	13:45	60,1	36	0	744	405,8	1735		
	14:20	59,3	35	0	728	308,8	1857		
	16:20	63,4	32	0	660	201,5	2141		
	18:00							20,2	
	12:00							15	
29.4.	7:00							20,2	
	9:35	63,7	32	0	618	157,4	1113		
	10:35							19,7	
	11:15	61,7	35	0	664	302,8	1375		
	11:45	60,1	35	0	666	317,1	1462		
	12:30	63	33	0	644	239,7	1596		
	minimi	56,6	32	0	412	0		2,1	
	miksimi	68,8	47	0	1500	405,8		40,5	
	keskiarvo	62,9	38,4	0,0		147,8		14,7	
	mittauksia	244							
	syöttökertoja							108	